



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
DEPARTAMENTO DE AQUICULTURA  
ENGENHARIA DE AQUICULTURA

FIBRA SINTÉTICA COMO SUPORTE BIOLÓGICO EM SISTEMAS DE  
RECIRCULAÇÃO PARA AQUICULTURA (RAS).

Marco Shizuo Owatari

Florianópolis  
2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
DEPARTAMENTO DE AQUICULTURA  
ENGENHARIA DE AQUICULTURA  
MARCO SHIZUO OWATARI

FIBRA SINTÉTICA COMO SUPORTE BIOLÓGICO EM SISTEMAS DE  
RECIRCULAÇÃO PARA AQUICULTURA (RAS).

Trabalho de Conclusão de Curso de  
Graduação em Engenharia de Aquicultura –  
como parte dos requisitos para a obtenção  
do título de Engenheiro de Aquicultura –  
pela Universidade Federal de Santa  
Catarina. Supervisão e orientação: Professor  
José Luiz Pedreira Mouriño Dr.

Florianópolis  
2016

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.**

Owatari, Marco Shizuo

Fibra Sintética Como Suporte Biológico Em Sistemas De Recirculação Para Aquicultura (RAS). / Marco Shizuo Owatari; orientador, José Luiz Pedreira Mouriño - Florianópolis, SC, 2016.

65 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Graduação em Engenharia de Aquicultura.

Inclui referências

1. Engenharia de Aquicultura. 2. Ensino superior. 3. Sustentabilidade aquícola. 4. RAS. I., José Luiz Pedreira Mouriño. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Aquicultura. III. Título.

*“... os verdadeiros valentes vencem a sua imaginação e fazem o que devem fazer...”.*

Henry Charles Bukowski.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha mãe Marlene de Fátima Owatari, guerreira e heroína, por todo apoio, incentivo e amor.

Agradeço a minha irmã Mary Kyoko Owatari, pela presença constante em minha vida nesses anos de graduação.

Ao meu irmão Jonny Owatari.

Ao meu filho Zayon Owatari.

Muito obrigado ao meu amigo e irmão Ozéas de Castro.

Obrigado a todos os irmãos que a vida me deu Sergio Tavares, Adriano Espíndola, Merillin Espíndola, Adriano Soares, Claudemiro de Oliveira, Marcos Martins, Iran de Castro, Michelle Locks, Evandro Reis de Abreu, Márcio Santiago, que de alguma forma sempre me deram força nesta caminhada.

Ao meu amigo Rudi José Zamonier (*In memoriam*).

Aos colegas e amigos que fiz durante a jornada na graduação Jaiane, Karinne, Denis, Woody, Silvano, Glauber, Gabriel Nandi, Henrique, Filipi, Fefa, Thiago Gil, Gabriel Passini, Cristina Carvalho, Fábio Sterzelecki, Raoani, entre tantos outros, com vocês foi mais divertido e enriquecedor.

Muito obrigado a todos os amigos e colegas do laboratório AQUOS Gabriel, Hugo, Scheila, Marcela, Aline, Jorge Soares, Gabriela Pereira, Gabriela Hashimoto, Karen, Gabi Jeronimo, Lilian, José, Paula.

Agradeço ao meu orientador José Luiz Pedreira Mouriño por sua amizade e pelo seu entusiasmo contagiante.

Aos docentes da Universidade Federal de Santa Catarina que em algum momento estiveram presentes em minha jornada dentro da instituição.

A PRAE/UFSC (Pró-reitoria de Assuntos Estudantis – Universidade Federal de Santa Catarina) pela bolsa estudantil.

Ao AQUOS – Laboratório e Patologia e Sanidade de Organismos Aquáticos e LAPMAR – Laboratório de Piscicultura Marinha.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, meu muitíssimo obrigado.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do laboratório AQUOS. A unidade faz parte do Núcleo de Estudos em Patologia Aquícola da Universidade Federal de Santa Catarina em Florianópolis.	24
Figura 2: Design da sala experimental utilizada no presente estudo.	25
Figura 3: Sistema de filtração utilizado como biofiltros para realização dos experimentos (A). Foto da distribuição da argila expandida para filtração física no primeiro reator (B). Foto da fibra sintética, presentes no terceiro e quarto reator, para filtração biológica (C).	25
Figura 4: Fibra sintética comercial utilizada como suporte biológico no experimento.	26
Figura 5: Aparato respirométrico utilizado no ensaio montado em escala de bancada para teste de respirometria com a fibra sintética utilizada como suporte biológico.	29
Figura 6: Modelo da relação do consumo de oxigênio dissolvido (OD) em função do tempo (t).	31
Figura 7: Exemplo do efeito da adição de substrato na respiração do lodo - O intervalo a - b representa a queda de oxigênio relativa à respiração endógena. A reta b - d diz respeito ao consumo de oxigênio para a oxidação biológica substrato. A diferença entre c e d, portanto refere-se exclusivamente ao consumo de oxigênio devido à utilização do substrato pelos micro-organismos.	32
Figura 8: Ração comercial extrusada com teor de 35% proteína utilizada na alimentação das tilápias durante o experimento.	33
Figura 9: Ração experimental peletizada com teor de 42% proteína utilizada na alimentação de jundiás durante o experimento.	34
Figura 10: Variação temporal da concentração da amônia total nos primeiros dias de experimento após aplicação do protocolo de colonização da fibra sintética para suporte biológico utilizando o produto comercial e caldo de ração. As setas indicam a adição do caldo de ração nos momentos onde eram observadas as quedas na concentração de TAN.	35
Figura 11: Variação temporal da concentração da amônia tóxica nos primeiros dias de experimento após aplicação do protocolo de colonização da fibra sintética para suporte biológico utilizando o produto comercial e o caldo de ração.	36
Figura 12: Variação temporal da concentração de nitrito nos primeiros dias de experimento após aplicação do protocolo de colonização da fibra sintética para suporte biológico utilizando o produto comercial e o caldo de ração.	36
Figura 13: Relação linear entre o consumo de oxigênio ao longo do tempo na respiração endógena através dos valores obtidos em intervalos de 30 segundos durante o ensaio respirométrico.	38
Figura 14: Relação linear entre o consumo de oxigênio ao longo do tempo com a presença do substrato cloreto de amônio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). Os valores foram registrados em intervalos de 30 segundos durante o ensaio respirométrico. $C_1 = 35,369 \text{ mg.NH}_3/\text{L}$ ( $C_1$ é a concentração do pulso de amônia em $\text{mg/L}$ ).	38
Figura 15: Relação linear entre o consumo de oxigênio ao longo do tempo com a presença do substrato cloreto de amônio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). Os valores foram registrados em intervalos de	

30 segundos durante o ensaio respirométrico. C2= 51,628 mg.NH <sub>3</sub> /L (C2 é a concentração do pulso de amônia em mg/L). ....	39
Figura 16: Relação linear entre o consumo de oxigênio ao longo do tempo com a presença do substrato cloreto de amônio (NH <sub>4</sub> Cl). Os valores foram registrados em intervalos de 30 segundos durante o ensaio respirométrico. C3= 79,494 mg.NH <sub>3</sub> /L (C3 é a concentração do pulso de amônia em mg/L). ....	39
Figura 17: Relação linear entre o consumo de oxigênio ao longo do tempo com a presença do substrato cloreto de amônio (NH <sub>4</sub> Cl). Os valores foram registrados em intervalos de 30 segundos durante o ensaio respirométrico. C4= 215,225 mg.NH <sub>3</sub> /L (C4 é a concentração do pulso de amônia em mg/L). ....	39
Figura 18: Gráfico de monod – cinética de Michaelis-Menten – consumo de oxigênio em função do tempo (resposta não linear) face ao aumento de substrato.....	41
Figura 19: Estrutura da mídia biológica do tipo fibra sintética ( <i>Synthetic Steel Wool</i> ) em Microscopia eletrônica de varredura (MEV) (A). Colonização bacteriana na mídia biológica (B). ....	43
Figura 20: Variações do pH no decorrer do período experimental no qual os tanques foram povoados com tilápias-do-nilo. ....	45
Figura 21: Variações do pH no decorrer do período experimental no qual os tanques foram povoados com jundiás. ....	45
Figura 22: Média e desvio padrão das variáveis físico-químicas de qualidade da água durante a engorda de tilápias-do-nilo em sistema de recirculação durante 60 dias. ....	48
Figura 23: Média e desvio padrão das variáveis físico-químicas de qualidade da água durante a engorda de jundiás em sistema de recirculação durante 60 dias. ....	49
Figura 24: Média e desvio padrão das variáveis físico-químicas de qualidade da água durante a engorda de tilápias-do-nilo em sistema de recirculação durante 60 dias. ....	50
Figura 25: Média e desvio padrão das variáveis físico-químicas de qualidade da água durante a engorda de jundiás em sistema de recirculação durante 60 dias. ....	51
Figura 26: Média e desvio padrão das variáveis físico-químicas de qualidade da água durante a engorda de tilápias-do-nilo em sistema de recirculação durante 60 dias. ....	52
Figura 27: Média e desvio padrão das variáveis físico-químicas de qualidade da água durante a engorda de jundiás em sistema de recirculação durante 60 dias. ....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Consumo de oxigênio frente a oferta de diferentes concentrações de substrato durante os ensaios de respirometria realizados no experimento. ....	37
Tabela 2: Consumo específico de oxigênio. QO <sub>2</sub> X representa o consumo de OD durante os testes de respirometria não levando em conta a respiração endógena; QO <sub>2</sub> X (corrigido) é o consumo de OD descontada a respiração endógena e QO <sub>2</sub> é a velocidade específica de consumo de OD.....	40
Tabela 3: Parâmetros zootécnicos para tilápia-do-nilo ao final do período experimental (médias ± desvio padrão). ....	56
Tabela 4: Parâmetros zootécnicos para Jundiá ao final do período experimental (médias ± desvio padrão). ....	57

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>11</b>
<b>2. JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>17</b>
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>17</b>
3.1. Objetivo geral .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.2. Objetivos específicos .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>4. FORMATAÇÃO.....</b>	<b>18</b>
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>19</b>
<b>Artigo .....</b>	<b>19</b>
<b>Fibra sintética como suporte biológico em sistemas de recirculação para aquicultura (RAS).....</b>	<b>19</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>20</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>21</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
2.1. Local do experimento .....	24
2.2. Montagem do sistema de recirculação experimental.....	24
2.3. Características técnicas do suporte biológico para performance do biofiltro.....	26
2.3.1. Ensaio de colonização da fibra sintética para suporte biológico .....	27
2.3.2. Respirimetria .....	28
2.3.3. Microscopia eletrônica .....	32
2.4. Ensaio com Tilápia - <i>Oreochromis niloticus</i> (Linnaeus, 1758). .....	32
2.5. Ensaio com Jundiá - <i>Rhamdia quelen</i> (Quoy e Gaimard, 1824). .....	33
2.6. Parâmetros zootécnicos dos animais cultivados .....	34
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>35</b>
3.1. Colonização das fibras sintéticas para suporte biológico.....	31
3.2. Respirimetria.....	33
3.2.1. Resultado do consumo específico de oxigênio.....	36
3.3. Microscopia eletrônica .....	42
3.4. Ensaio experimentais .....	43
3.4.1. Ensaio com Tilápia - <i>Oreochromis niloticus</i> (Linnaeus, 1758).....	43



3.4.2. Ensaio com Jundiá - <i>Rhamdia quelen</i> (Quoy e Gaimard, 1824) .....	41
3.5. Parâmetros zootécnicos.....	53
3.5.1. Tilápias-do-nilo ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) .....	53
3.5.2. Jundiás ( <i>Rhamdia quelen</i> ) .....	54
<b>4. CONCLUSÃO.....</b>	<b>58</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>58</b>
<b>6. AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>56</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>60</b>
<b>REFERÊNCIAS INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>63</b>

## **RESUMO**

A aquicultura encontra-se em franca expansão no mundo e no Brasil. Os peixes criados em sistemas aquícolas representaram 42 % do total de 158 milhões de toneladas obtidas no somatório da pesca de captura e da aquicultura no ano de 2012. Estima-se que a produção continental brasileira de peixes dulcícolas esteja próxima de 600 mil toneladas sendo Santa Catarina destaque nacional com produção em torno de 40 mil toneladas. Contudo para aumentar a produtividade muitos produtores optam por intensificar a produção, ultrapassando a capacidade suporte de seus sistemas. Os sistemas convencionais de aquicultura se tornarão insustentáveis em longo prazo quer seja por problemas ambientais ou de biossegurança. A busca por métodos de cultivos mais sustentáveis se faz necessária nos dias atuais e neste contexto surgem os sistemas de recirculação para aquicultura – conhecidos como RAS – que possibilitam atingir altos índices de produção, minimizando os impactos ao meio ambiente. O RAS é visto como sustentável, ambientalmente amigável, com possibilidade de flexibilidade em sua estrutura produtiva, capacidade de controle das variáveis ambientais e possibilidade de produção durante todo o ano. Estes sistemas são peças-chave para o crescimento da aquicultura sustentável. Em sistemas de recirculação para aquicultura, os desafios estão associados com a acumulação de amônia e nitrito nas águas de cultivos e a remoção destes compostos é um dos principais desafios na produção. A escolha dos componentes do RAS, assim como do suporte biológico a ser utilizado, pode influenciar diretamente nos custos de implantação e na eficiência do mesmo. A eficiência dos filtros biológicos e os processos de nitrificação envolvidos nesse tipo de sistema estão diretamente relacionados com os tipos de mídias utilizadas como suporte biológico para adesão de bactérias. O sistema de RAS depende de biofiltros eficientes que sejam capazes de oxidar a amônia tóxica em nitratos, contudo entender os parâmetros de controle dos diferentes filtros e seus suportes biológicos é um processo muito importante para o sucesso operacional desses sistemas. Sendo assim, desenvolvimento de protocolos para avaliações de biofiltros e mídias filtrantes é imprescindível.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A aquicultura encontra-se em franca expansão. Somente no ano de 2012 a produção aquícola mundial ultrapassou a marca de 90 milhões de toneladas, das quais 66,6 milhões de toneladas foram oriundas da criação de peixes e 23,8 milhões de toneladas do cultivo de algas, representando uma movimentação comercial de aproximadamente US\$ 144 bilhões. Os peixes criados em sistemas aquícolas representaram 42 % do total de 158 milhões de toneladas obtidas no somatório da pesca de captura e da aquicultura no ano de 2012 (FAO, 2014).

Estima-se que a produção continental brasileira de peixes dulcícolas esteja próxima de 600 mil toneladas, sendo que as pisciculturas estão estabelecidas de norte a sul do território nacional, com destaque para o estado do Paraná como o maior produtor nacional, com aproximadamente 80 mil toneladas (MPA, 2014).

Atualmente mais de 64 espécies de organismos aquáticos são cultivadas no Brasil, tendo como principais espécies a tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*), algumas variedades de carpas, seguido pelos peixes redondos, pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e tambaqui (*Colossoma macropomum*) e bagres nativos do gênero *Pseudoplatystoma*. Podemos citar outras espécies, como o pirarucu (*Arapaima gigas*) e a truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) com potencial de produção promissor. Os sistemas adotados para prática da piscicultura são na grande maioria realizados em viveiros escavados. Entretanto os cultivos em gaiolas flutuantes estão se popularizando em represas e lagos, de acordo com dados recentes publicados pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação – FAO – (2016).

No sul do Brasil destaca-se o estado de Santa Catarina por sua produtividade, pois no ano de 2014 produziu cerca de 40 mil toneladas de peixes, dos quais 67,37 % foram variedades da tilápia, 25,06 % de carpas, 1,87 % de jundiás, 1,87 % de trutas e 3,82 % de outras espécies (EPAGRI, 2016).

Para o aumento de produtividade muitos produtores optam por intensificar a produção, utilizando densidades elevadas, muitas vezes acima da capacidade suporte de seus sistemas. O aumento na produtividade aquícola implica diretamente na necessidade de maior estocagem de animais por metro cúbico de água nos sistemas de produção. Isto acarreta na intensificação da oferta de alimento, que por sua vez quando mal manejada, pode deteriorar a qualidade da água, causando perda da sanidade nas criações (WU et al., 2013; KAYANSAMRUAI et al., 2014; SUBASINGHE, 2005).

Segundo Timmons & Ebeling (2010), os sistemas convencionais de aquicultura se tornarão insustentáveis em longo prazo, quer seja por problemas ambientais ou por biossegurança. Os problemas de ordem ambiental relacionados à aquicultura, de maneira geral, são mensurados em escala global, ou seja, como a atividade aquícola afeta o planeta, utilizando indicadores como a emissão de gases do efeito estufa (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>), o consumo de energia e a área superficial necessária para desenvolvimento da atividade. Além dos indicadores globais, os problemas ambientais aquícolas podem ser escalonados em nível regional, próximos aos locais de desenvolvimento da atividade, tendo como indicadores de eutrofização e acidificação a quantidade de compostos nitrogenados e fosforados lançados nos ecossistemas (MARTINS et al. 2010).

Outro fator a ser considerado é a biossegurança, uma vez que espécies exóticas são utilizadas na aquicultura e a possibilidade de fugas dessas espécies para o ambiente podem impactar populações selvagens quer seja por cruzamentos intraespecíficos ou por competição de recursos (TAL et al. 2009). Problemas de sanidade evidenciaram a fragilidade do setor aquícola na década de 1990, onde surtos de patógenos virais abalaram a indústria da carcinicultura, causando grandes perdas econômicas desde então (OTOSHI et al. 2003).

Segundo a FAO (2014), o número de pessoas que dependem da pesca e da aquicultura como fonte de renda e alimentação é cada vez maior, estimando que cerca de 10 % a 12 % da população mundial dependam diretamente dessas atividades. Contudo, as ingerências dos recursos ambientais ameaçam a sustentabilidade da atividade. No Brasil o consumo per capita de produtos derivados do pescado deve aumentar nas próximas décadas, fazendo com que o setor seja cada vez mais dependente da aquicultura (ROCHA et al. 2013).

De acordo com Godfray et al. (2010), para aumentar a produção de alimentos em uma mesma dimensão de área é necessária a intensificação sustentável, a fim de reduzir os impactos ambientais. Seguindo estas estratégias de produção, surgem os sistemas de recirculação para aquicultura, conhecido com a sigla do idioma inglês RAS “*Recirculating Aquaculture Systems*”, que possibilitam atingir altos índices de produção, minimizando os impactos ao meio ambiente. A aquicultura sustentável, que preconiza a produção de alimentos em harmonia com a natureza, pode ser alcançada quando os sistemas de produção são projetados prevendo impacto mínimo ao meio ambiente. Os sistemas de recirculação em aquicultura proporcionam reduções no uso de água e área física, melhorando a gestão dos resíduos, tornando a produção intensiva de peixes compatível com a sustentabilidade ambiental (MARTINS et al., 2010).

O RAS é visto como sustentável, ambientalmente amigável, com possibilidade de flexibilidade em sua estrutura produtiva, capacidade de controle das variáveis ambientais e possibilidade de produção durante todo o ano. O processo de evolução destes sistemas vem acontecendo ao longo das últimas três décadas e muitas dessas tecnologias foram desenvolvidas através de pesquisas em universidades ou outros setores, que se dedicam a investigação de metodologias, técnicas e equipamentos que contribuam com o refinamento dos processos para purificação e reutilização de água na aquicultura (TIMMONS & EBELING, 2010).

Atualmente os sistemas de recirculação têm se apresentado como peça chave para o desenvolvimento de uma aquicultura mais sustentável, pois variáveis físico-químicas da água como temperatura, pH, oxigênio dissolvido, alcalinidade, entre outras, podem se manter mais estáveis ao longo do período de produção nesses sistemas. Levando em conta todos esses fatos, pode-se dizer que são mais biosseguros, pois permitem maior controle da qualidade de água, evitando possíveis contaminações ambientais através da eliminação quase total de trocas de água. Além disso, podem contribuir com a prevenção de fugas de espécies exóticas para natureza, o que minimiza também os riscos de contaminação biológica e evita a disseminação de patógenos.

Estudos comprovam que a implementação de sistemas de recirculação está se tornando uma prática cada vez mais frequente, uma vez que atividades sustentáveis e ecologicamente corretas são necessárias nos dias atuais, pois proporcionam uma extrema redução no volume de água utilizado, otimizando os espaços de cultivos e, principalmente, permitindo um melhor controle sobre as variáveis ambientais dos sistemas (HELDBO, 2015).

Podemos considerar que estes sistemas representam uma inovação para piscicultura, uma vez que abrimos mão das criações ao ar livre em tanques abertos e fazemos uso de tanques alojados em áreas menores e protegidas, elevando as densidades de estocagem dos peixes em um ambiente mais controlado (HELFRICH & LIBEY, 1991).

Os sistemas fechados são apresentados como uma grande oportunidade comercial, uma vez que são baseados em altas densidades de estocagem, utilizando até 99% menos água que os sistemas tradicionais de cultivos. Os custos envolvidos na fase de projeto e execução de um sistema de recirculação aquícola são normalmente maiores que os praticados em sistemas convencionais; e quaisquer equívocos no dimensionamento ou na escolha dos equipamentos, podem resultar em falhas catastróficas para todo o sistema. Contudo, quando bem dimensionados, os sistemas de recirculação oferecem grandes vantagens, permitindo maior autonomia e controle nos cultivos (NAZAR et al., 2013). Os sistemas de recirculação

podem ser modelados de muitas maneiras, utilizando-se vasta gama de componentes em sua estrutura para remoção dos resíduos indesejáveis na água (BIJO et al., 2007).

As diversas formas de compostos nitrogenados podem ser removidas dos sistemas de cultivo através de processos mecânicos, físico-químicos e biológicos. Todavia os processos biológicos demonstram-se mais econômicos e eficientes, pois seguem as mesmas vias de decomposição existentes na natureza, porém em condições controladas. Em sistemas para tratamento de efluentes os principais processos biológicos para ciclagem do nitrogênio são a nitrificação, a desnitrificação e a oxidação anaeróbia da amônia (MICHELS, 2011).

A remoção da amônia desses sistemas é obtida através dos processos de nitrificação e desnitrificação, onde as bactérias nitrificantes oxidam a amônia a nitrato em condições aeróbias e o nitrato pode ser simultaneamente reduzido para nitrogênio gasoso ( $N_2$ ) em condições anaeróbias. As bactérias nitrificantes como as dos gêneros *Nitrobacter*, *Nitrosomonas*, *Nitrospira* entre outras, são em sua grande maioria quimioautotróficas e a partir da oxidação da amônia ou nitrito obtém sua energia. Os compostos nitrogenados oxidados podem ser utilizados como receptores de elétrons, de forma alternativa, por bactérias desnitrificantes. As bactérias que realizam a desnitrificação são em sua grande maioria heterotróficas, como as *Pseudomonas*, *Rhizobium* e *Paracoccus* (MATEJU et al., 1992) e precisam de disponibilidade de carbono orgânico dissolvido (COD) como fonte de energia (SLIEKERS et al., 2002).

Quando entramos no campo da aquicultura, os processos biológicos são os mais importantes para o tratamento de águas residuárias, destacando-se o processo de nitrificação como o mais relevante. A nitrificação que ocorre no biofiltro pode ser afetada por uma série de fatores, tais como o tipo de mídia utilizada como suporte biológico das bactérias, concentrações de oxigênio dissolvido, quantidade de matéria orgânica, temperatura, pH, alcalinidade, salinidade. As bactérias nitrificantes são sensíveis e estão suscetíveis a uma variedade de fatores relacionados à qualidade da água tais como a concentrações elevadas de amoníaco e ácido nitroso, níveis de oxigênio dissolvido baixos e pH fora da faixa de conforto (MALONE & PFEIFFER, 2006; CRAB et al., 2007; BROWN et al., 2013).

Em sistemas de recirculação para aquicultura, os desafios estão associados com a acumulação de amônia e nitrito. A nitrificação é de suma importância para a aquicultura, principalmente em RAS onde a descarga de efluentes no ambiente é próxima a zero e a qualidade da água é mantida através da biofiltração (BROWN et al., 2013). Ela ocorre em duas etapas, na qual a amônia é oxidada a nitrito por bactérias oxidadoras de amônia, chamada de nitritação e em seguida o nitrito é oxidado a nitrato por bactérias oxidadoras de

nitrito, conhecida como nitratação. As bactérias do gênero *Nitrosomonas*, *Nitrosospir* oxidam a amônia em nitrito e as do gênero *Nitrosococcus*, *Nitrobacter*, *Nitrospira*, *Nitrococcus* e *Nitrospina* são algumas das bactérias oxidadoras de nitrito (MICHELS, 2011; BROWN et al., 2013).

Normalmente os sistemas de produção são classificados em três categorias quanto ao grau de disponibilidade de carbono orgânico e nitrogênio: podendo ser oligotróficos (alta limitação de nutrientes); mesotrófico (média limitação de nutrientes); ou eutrófico (excesso de nutrientes). Entretanto, do ponto de vista da engenharia de aquicultura, primeiramente observa-se o habitat natural da espécie a ser cultivada para então se definir o padrão de qualidade de água a ser adotado, formando importante elo entre as expectativas de produção e as características que o biofiltro deverá possuir para ter um bom desempenho. A determinação da capacidade de nitrificação de um biofiltro está diretamente ligada ao seu biofilme, que é a densidade de micro-organismos aderidos ao material suporte. Este biofilme é formado na área superficial disponível para adesão de micro-organismos do material suporte. Após certo tempo esse material suporte fica, portanto, recoberto por outra camada contendo uma variada população de bactérias nitrificantes (MALONE & PFEIFFER, 2006).

Os materiais suporte, também chamados de mídias filtrantes são comumente avaliados e comparados através da área de superfície total disponível por metro cúbico de mídia. No entanto, estimar as taxas de nitrificação com base na área superficial teórica muitas vezes pode ser enganoso, pois o biofilme que recobre as mídias é capaz de modificar as características dessas estruturas e criar uma nova área superficial, reduzindo a área disponível às bactérias nitrificantes (GUERDAT et al., 2010).

A eficiência dos filtros biológicos e os processos de nitrificação envolvidos nesse tipo de sistema estão diretamente relacionados com os tipos de mídias utilizadas como suporte biológico para adesão de bactérias. É importante que as mídias utilizadas ofereçam maior área superficial, permitindo maior crescimento bacteriano por unidade de volume das mídias do filtro e, conseqüentemente, aumentar a remoção da amônia. Além disso, a construção de filtros biológicos, utilizando mídias com grandes áreas superficiais pode representar redução de custos, uma vez que necessitaremos de menos espaço físico para montá-los (LEKANG & KLEPPE, 2000).

O tempo de vida útil das mídias alternativas para uso em filtros biológicos deve ser observado, levando em conta a composição de suas estruturas por exemplo. Mídias como madeira podem ser utilizadas, contudo tem vida útil reduzida quando comparadas às mídias plásticas (SALILING et al., 2007), podendo entrar em decomposição causando problemas

secundários no sistema, como alterações nos parâmetros físico-químicos de qualidade de água. O sistema de RAS é dependente de biofiltros eficientes que sejam capazes de oxidar a amônia tóxica em nitratos, considerados menos tóxicos aos organismos aquáticos (LIU et al., 2013).

Atualmente na aquicultura há uma busca constante por novas formas de produção que visem redução no consumo de água, de terras e danos ambientais. Assim sendo, um bom projeto deve prever e contemplar o uso de tecnologias que permitam atingir esses objetivos (LOSORDO et al., 1998; SALILING et al., 2007). Um dos fatores que limitam essa prática é o custo elevado de materiais, especialmente quando falamos das mídias plásticas tradicionais para suporte biológico, onde o custo desse material pode chegar próximo de US\$ 1000/m<sup>3</sup> (SALILING et al., 2007). Em RAS, infinitos suportes biológicos naturais e artificiais, não tóxicos, são utilizados em biofiltros, devendo estes favorecer o crescimento das bactérias nitrificantes (RIDHA & CRUZ, 2001).

A escolha dos componentes do RAS, assim como do suporte biológico a ser utilizado, pode influenciar diretamente nos custos de implantação e na eficiência do mesmo (SUMMERFELT, 2006). Por exemplo filtros submersos, quando comparados aos filtros percoladores, apresentam a vantagem de poder reduzir em até dez vezes o volume necessário de mídias filtrantes para operarem (BLANCHETON, 2007). De maneira geral, em sistemas de produção aquícola, os filtros biológicos devem ter como função principal a remoção do excesso dos compostos nitrogenados aportados no sistema e evitar o acúmulo dos mesmos. Os biofiltros devem reduzir a concentração de amônia total (TAN, do idioma inglês *Total Ammonia Nitrogen*) através da nitrificação e desta maneira os projetos de RAS devem maximizar e aperfeiçoar a taxa de remoção de TAN com a finalidade de reutilizar a água, minimizando os impactos dos compostos nitrogenados sobre os animais cultivados (GUERDAT et al., 2010).

Todavia, entender os parâmetros de controle dos diferentes filtros e seus suportes biológicos, é uma etapa muito importante para definição dos processos operacionais, do *layout* e dimensionamento dos filtros. É imprescindível o desenvolvimento de protocolos para avaliações de biofiltros e mídias filtrantes, a fim de contribuir com informações para que a indústria possa fazer uso dessas tecnologias na cadeia produtiva.



## 2. JUSTIFICATIVA

Diante da atual conjuntura global, a aquicultura necessita de métodos e alternativas que atuem em prol do meio ambiente, ou seja, práticas mais amigáveis e ecologicamente corretas. Os sistemas de recirculação (RAS) se encaixam nessa nova perspectiva aquícola de produção, pois proporcionam reduções consideráveis no consumo de água, maior produtividade por área, além de serem biosseguros.

Os sistemas de recirculação para aquicultura já são uma realidade em várias regiões do planeta, pois otimizam áreas para produção, reduzem gastos excessivos de água e evitam a descarga demasiada de efluentes no meio ambiente. Os sistemas RAS são peças fundamentais para o desenvolvimento da aquicultura sustentável.

Dessa forma, o número limitado de informações sobre RAS no Brasil e no mundo proporciona caráter de ineditismo ao estudo com a fibra sintética, sendo importante a realização de pesquisas científicas que avaliem o uso e desempenho de materiais que possam reduzir custos de implantação destes sistemas.

## 3. OBJETIVOS

### 3.1. Objetivo geral

Contribuir para o desenvolvimento da aquicultura intensiva validando o uso de fibra sintética como suporte biológico em sistemas de recirculação aquícola (RAS).

### 3.2. Objetivos específicos

- Avaliar a eficiência da fibra sintética como suporte biológico para adesão de micro-organismos em biofiltros de sistemas de recirculação aquícola (RAS) através da visualização da colonização de bactérias nitrificantes;
- Avaliar a eficiência da fibra sintética como suporte biológico para adesão de micro-organismos em biofiltros de sistemas de recirculação aquícola (RAS) através de ensaio de respirometria;
- Verificar os parâmetros zootécnicos de tilápias-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) e jundiás (*Rhamdia quelen*) cultivados em sistemas de recirculação aquícola (RAS) utilizando fibra sintética como suporte biológico.

#### **4. FORMATAÇÃO**

O capítulo 1 do trabalho de conclusão de curso está formatado nas normas da ABNT.

O capítulo 2 está formatado segundo as normas da revista *Aquacultural Engineering*.

## CAPÍTULO 2

### Artigo

**Fibra sintética como suporte biológico em sistemas de recirculação para aquicultura (RAS).**

*Synthetic fiber as biological support in recirculating aquaculture systems (RAS).*

Marco Shizuo Owatari<sup>\*1, 2</sup>, José Luiz Pedreira Mouriño<sup>1, 2</sup>.

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Departamento de Aquicultura, Centro de Ciências Agrárias - CCA, Rodovia Admar Gonzaga 1346, CEP: 88040-900, Florianópolis/SC, Brasil;

<sup>2</sup>Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Departamento de Aquicultura, – Laboratório de Patologia e Sanidade de Organismos Aquáticos - AQUOS, Rodovia Admar Gonzaga 1346, CEP: 88040-900 Florianópolis/SC, Brasil;

\*Corresponding author. Tel: +55 48 96690814

E-mail address: owatarimarco@hotmail.com

## RESUMO

O estudo investigou o uso de fibra sintética como suporte biológico para adesão de bactérias nitrificantes nos compartimentos de biofiltração de sistema de recirculação para aquicultura - RAS. O experimento foi realizado em duas etapas, tendo duração de 60 dias cada uma delas. Na primeira etapa 24 unidades experimentais (100 L) foram povoadas com tilápias-do-nilo, *Oreochromis niloticus*, (espécie onívora). Para segunda etapa do experimento, utilizou-se o jundiá, *Rhamdia quelen*, (espécie onívora com tendência a carnivoria). No primeiro ensaio, as tilápias foram alimentadas quatro vezes ao dia com ração comercial para onívoros, já no segundo ensaio, os jundiás foram alimentados com ração experimental formulada de acordo com as exigências nutricionais da espécie. Em ambos os ensaios, os animais foram alimentados à taxa de 3% da biomassa viva. As fibras sintéticas utilizadas como suportes biológicos alternativos foram introduzidas nos compartimentos de filtração biológica do sistema, e para validar o uso das mesmas, testes da respirometria e microscopia eletrônica de varredura foram realizados após a inoculação com *pull* de micro-organismos vendidos comercialmente. As variáveis de qualidade de água foram monitoradas diariamente ao longo de todo os experimentos. No ensaio de respirometria e microscopia eletrônica de varredura, pode-se verificar o sucesso da colonização das bactérias nitrificantes na fibra sintética, garantindo a manutenção dos parâmetros de qualidade de água durante os experimentos. Ao final dos experimentos, a fibra sintética utilizada apresentou-se como um eficiente suporte biológico para crescimento de bactérias nitrificantes e manutenção das variáveis físico-químicas de qualidade da água, além de garantir bom crescimento dos animais em sistema de recirculação.

Palavras-chave: Filtro-biológico, respirometria, esponja, *Rhamdia quelen*, *Oreochromis niloticus*.

## 1. INTRODUÇÃO

Os sistemas aquícolas convencionais de produção se tornarão insustentáveis em longo prazo, quer seja por problemas ambientais ou por problemas associados à biossegurança (Timmons e Ebeling, 2010). De acordo com Godfray et al. (2010), para uma maior produção de alimentos em uma mesma dimensão de área é necessária uma intensificação sustentável, a fim de reduzir os impactos ambientais. Seguindo estas estratégias de produção, surgem os sistemas de recirculação para aquicultura, conhecidos como RAS – sigla do idioma inglês do termo “*Recirculating Aquaculture Systems*” – os quais proporcionam redução no uso de água, melhorando a gestão dos resíduos, tornando a produção intensiva de peixes compatível com a sustentabilidade ambiental, além de permitir melhor controle sobre às variáveis ambientais (Martins et al. 2010; Heldbo, 2015).

Os cultivos aquícolas em sistemas fechados estão se tornando uma grande oportunidade comercial, uma vez que são baseados em altas densidades de estocagem, utilizando até 99% menos água que os sistemas tradicionais de cultivos. Os custos envolvidos na projeção e execução de um RAS são consideráveis, portanto quaisquer equívocos no dimensionamento ou na escolha de equipamentos podem resultar em falhas catastróficas para todo o sistema. Contudo, quando bem dimensionados, os RAS oferecem grandes vantagens, permitindo maior autonomia e controle nas criações (Nazar et al., 2013). Os RAS podem ser modelados de muitas maneiras, utilizando-se uma vasta gama de componentes em sua estrutura para remoção dos resíduos indesejáveis na água (Bijo et al., 2007).

Em sistemas de recirculação para aquicultura, os principais desafios estão associados a remoção de sólidos em suspensão e com a acumulação de compostos nitrogenados. A remoção de amônia desses sistemas é obtida através dos processos de nitrificação e desnitrificação, onde as bactérias nitrificantes oxidam a amônia a nitrato em condições aeróbias, considerado menos tóxico aos organismos aquáticos, ou o nitrato pode ser

simultaneamente reduzido para nitrogênio gasoso ( $N_2$ ) em condições anóxicas. As bactérias nitrificantes são, em sua grande maioria, quimioautotróficas e obtêm sua energia a partir da oxidação da amônia ou nitrito (Sliekers et al., 2002; Liu et al., 2013).

A determinação da capacidade de nitrificação de um biofiltro está diretamente ligada ao seu biofilme, que é a densidade de micro-organismos aderidos ao material suporte. Este biofilme é formado na área superficial disponível para adesão de micro-organismos do material suporte. Após certo tempo esse material suporte fica, portanto, recoberto por outra camada contendo uma variada população de bactérias nitrificantes (MALONE & PFEIFFER, 2006). Os materiais suporte, também chamados de mídias filtrantes são comumente avaliados e comparados através da área de superfície total disponível por metro cúbico de mídia. No entanto, estimar as taxas de nitrificação com base na área superficial teórica muitas vezes pode ser enganoso, pois o biofilme que recobre as mídias é capaz de modificar as características dessas estruturas e criar uma nova área superficial, reduzindo a área disponível às bactérias nitrificantes (GUERDAT et al., 2010).

Dessa forma, a eficiência dos filtros biológicos e os processos de nitrificação envolvidos nesse tipo de sistema estão diretamente relacionados com os tipos de mídias utilizadas como suporte biológico para adesão de bactérias (Lekang e Kleppe, 2000). Em RAS, uma grande variedade de mídias filtrantes naturais ou artificiais, não tóxicas, são utilizadas em filtros biológicos, devendo estes favorecer o crescimento e adesão das bactérias nitrificantes (Ridha e Cruz, 2001), sendo a microscopia eletrônica de varredura um método muito utilizado para verificação da morfologia e aderência de micro-organismos nos espaços intersticiais dessas superfícies para suporte biológico.

As características microbiológicas da biomassa que atua nos processos de nitrificação podem ser determinadas mediante um estudo cinético que envolve múltiplas metodologias, as quais estabelecem parâmetros referentes às atividades dos microrganismos envolvidos. Esses

parâmetros se baseiam em indicações relacionadas às variações do consumo de substrato ou formação de produtos em determinado meio, o qual estão intimamente ligados às reações biológicas envolvidas (variações do oxigênio dissolvido, pH, temperatura ou alcalinidade). Assim, a respirometria se destaca como uma técnica rápida e simples, utilizada para determinar a velocidade de consumo biológico de oxigênio em condições experimentais definidas (IAWQ, 1998).

Métodos simplificados para o uso da respirometria encontram-se reportados na literatura com ênfase na avaliação direta de respirogramas (Spanjers et al., 1999) e no emprego de equipamentos e procedimentos menos sofisticados como a utilização de um aparato respirométrico em escala de bancada (Gernaey et al., 1997; Xu e Hasselblad, 1996; Spanjers et al. 1998).

Assim, o objetivo deste trabalho foi verificar o desempenho de fibras sintéticas como suporte biológico para biofiltros em sistemas de recirculação aquícola (RAS), além de validá-la como mídia biológica alternativa para aquicultura.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Local do experimento

Todo o experimento foi realizado no Laboratório de Sanidade de Organismos Aquáticos – AQUOS, o qual faz parte do Núcleo de Estudos em Patologia Aquícola – NEPAQ/UFSC, situado à Servidão Caminho do Porto, Florianópolis, Santa Catarina (fig. 1).

Figura 1: Localização do laboratório AQUOS. A unidade faz parte do Núcleo de Estudos em Patologia Aquícola da Universidade Federal de Santa Catarina em Florianópolis.



Fonte: google mapas 2016.

### 2.2. Montagem do sistema de recirculação experimental.

O sistema de recirculação aquícola é composto por 24 caixas plásticas com capacidade de 100 L, e volume útil de 80 L, que são abastecidos por um reservatório de 300 L alocado no interior da sala de cultivo. O sistema conta com uma bomba centrífuga instalada na parte externa da sala, a qual é responsável pela movimentação de água da caixa equalizadora externa para o reservatório interno à sala. Os tanques foram dispostos sobre quatro estratos de madeira, no total de seis tanques por estrado (fig. 2), com distribuição individual de água para cada tanque, a vazão aproximada de 0,022 L/s.

As unidades de tratamento de água foram alocadas no exterior da sala, submetidos a temperatura ambiente, e eram compostas por 4 tambores plásticos de 200 L cada – denominados de biorreatores. O primeiro biorreator foi preenchido com argila expandida para filtragem física da água, o segundo biorreator recebeu conchas de ostras para manutenção da



alcalinidade no sistema. O terceiro e quarto receberam a fibra sintética como mídia para suporte biológico. Utilizou-se 200 unidades de esponjas do tipo fibraço, cada unidade com dimensões de 225 mm x 110 mm x 10 mm da marca comercial BETTANIN®, inseridas dentro dos biorreatores 03 e 04 do filtro biológico, conforme apresentados na figura 3.

Figura 2: Design da sala experimental utilizada no presente estudo.



Fonte: o autor

Figura 3: Sistema de filtração utilizado como biofiltros para realização dos experimentos (A). Foto da distribuição da argila expandida para filtração física no primeiro reator (B). Foto da fibra sintética, presentes no terceiro e quarto reator, para filtração biológica (C).



Fonte: o autor

### 2.3. Características Técnicas do suporte biológico para performance do biofiltro.

Os suportes biológicos, denominados de fibra sintética ou fibração (ou do inglês “*synthetic steel wool*”), utilizados no experimento (fig. 4), são fabricados à base de fibras sintéticas e mineral abrasivo, unidos por resina à prova d'água, vendidos comercialmente para limpeza em geral, limpeza como sujeiras pesadas em cozinhas industriais, restaurantes e para as indústrias de alimentos. Substitui a palha de aço no trabalho de remover a sujeira.

O esfregão abrasivo, especialmente para utilização doméstica na cozinha em geral, é feito a partir de uma fibra reticulada, durável, sintética, tal como poliamida, poliéster, polietileno resistente, poliuretano ou de polipropileno, fornecidas pelo fabricante como fibras descontínuas, frisadas, com comprimentos variados. As fibras são transformadas numa teia fina utilizando um equipamento específico de lapidação (cruzamento convencional).

Seguindo o processo, a teia é direcionada para um dispositivo de rede “Randon”, que redistribui aleatoriamente as fibras na teia. A integridade da rede é então aumentada por uma operação denominada agulhagem, onde um ingrediente ligante é adicionado para composição das mesmas. Um ingrediente muito utilizado como material abrasivo é o carboneto de silício (composto sintético largamente usado como abrasivo, mas ocorre também na natureza na forma do mineral muito raro denominado moissanite).

Figura 4: Fibra sintética comercial utilizada como suporte biológico no experimento.



Fonte: <http://lojare.com.br/item/esponja-bettanin-fibra-c%7b47%7d1-limpeza-pesada.html>

### 2.3.1. Ensaio de colonização da fibra sintética.

O enchimento do sistema de recirculação foi realizado com 3200 L de água potável oriunda da rede de abastecimento do município. A qualidade da água foi monitorada diariamente, durante 120 dias, com sonda de multiparâmetro (modelo HI 9828 – *Hanna Instruments*), para mensurar a temperatura, oxigênio dissolvido e pH; e kit colorimétrico *Acqua Supre*, para realizar análises de alcalinidade, amônia e nitrito.

Durante o experimento não foram realizadas trocas de água no sistema, apenas reposições eram efetuadas devido às perdas com a evaporação. O estímulo inicial do filtro biológico se deu através da inoculação do produto comercial NITE-OUT II, contendo bactérias nitrificantes. Um Frasco de 250 mL do produto foi inoculado nos reatores 03 e 04, os quais continham as fibras sintéticas utilizadas para o suporte biológico, dispostas de modo que todas as esponjas ficassem submersas na água. O produto comercial utilizado é composto por bactérias nitrificantes (*Nitrosomonas*, *Nitrobacter* e *Nitrospira*) tendo como composição básica 40 % de bactérias nitrificantes, 60 % de água, 1 % de bicarbonato de sódio e menos de 1 % de conservantes.

Além disso, um caldo de ração comercial foi adicionado no sistema como fonte inicial de nitrogênio e carbono. O caldo foi obtido através de alíquota de 200 g de ração (valor próximo ao que seria ofertado para os peixes), colocada em recipiente com água até a desestabilização completa dos peletes para que ocorresse a separação dos ingredientes indissolúveis e decantáveis, originando o caldo. Diariamente, no período da manhã efetuava-se a medição dos níveis de amônia e nitrito no sistema, e adicionava-se o caldo de ração para elevar a quantidade de compostos nitrogenados e conseqüentemente a concentração da amônia na água. Esse procedimento foi repetido até o sétimo dia, onde as análises de qualidade da água apontaram reduções no nível de amônia total e nitrito do sistema,

garantindo que o sistema estava consumindo o excesso de amônia e provavelmente ocorrendo a nitrificação.

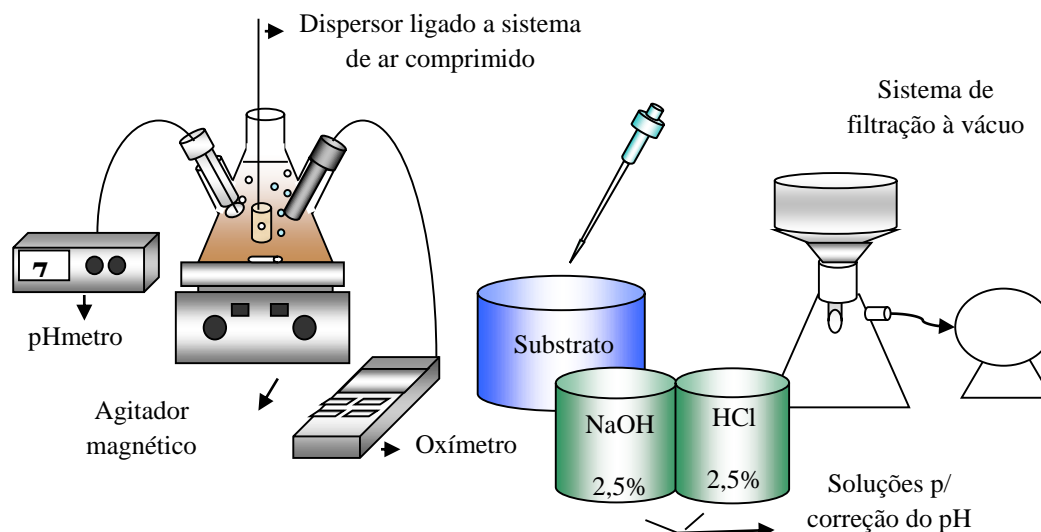
Dado este procedimento de colonização dos suportes biológicos, iniciou-se o teste de respirometria.

### 2.3.2. Respirometria.

O arranjo do equipamento utilizado (Fig. 5) é configurado com o uso de um erlenmeyer, empregado como biorreator, com capacidade de 350 mL. Uma unidade da fibra sintética foi retirada dos biofiltros (03 e 04) após o período de colonização inicial das mídias. Foi realizado um esfregaço manual para remoção da biomassa de micro-organismos presentes, com auxílio de meio de crescimento específico para bactérias nitrificantes descrito por Campos et al, 1999, ajustado na concentração final de 1g SST/L. Para tal, 300 mL da suspensão de 1g SST/L foi transferida para o aparato.

Aerou-se o sistema com um compressor de ar e pedra porosa e fez-se ajustes no pH para se obter valores entre 7,8 - 8,0 com o uso de soluções de NaOH (hidróxido de sódio) 2,5 % (p/v) e HCl (ácido clorídrico) 2,5 % (v/v). Ajustou-se a temperatura para 35°C e a rotação do agitador magnético entorno de 300 rpm. Quando as condições de temperatura e OD no meio estavam próximas ao desejado ou estabilizado foi procedido o ensaio de respirometria.

Figura 5: Aparato respirométrico utilizado no ensaio montado em escala de bancada para teste de respirometria com a fibra sintética utilizada como suporte biológico.



Para a determinação da respiração endógena, interrompeu-se a aeração e, simultaneamente, iniciou-se a contagem de tempo, executando a mensuração de OD em intervalos de tempo de 30 segundos utilizando um oxímetro (YSI Pro 20), tomando-se o cuidado de não permitir que a concentração de OD alcance valor inferior a 30 % da concentração de saturação. Após isso, foi acionada novamente a aeração até que as condições operacionais de temperatura e oxigênio fossem restabelecidas.

Na determinação da respiração com presença de substrato, foi utilizada uma solução contendo cloreto de amônio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) com concentração conhecida. Foi dado inicialmente um pulso de 1g/L de cloreto de amônio na solução, na sequência a mesma foi homogeneizada e alíquota da suspensão, de mesmo volume, foi coletada. Após o pulso, a aeração do sistema foi suspensa e iniciou-se a leitura da queda de oxigênio dissolvido em intervalos de tempo, os quais variam de acordo com a atividade da suspensão em questão, aproximadamente 30 segundos. Ao total foram dados quatro pulsos de cloreto de amônio nas seguintes concentrações: C1[35,369 mg. $\text{NH}_3$ /L]; C2[51,628 mg. $\text{NH}_3$ /L]; C3[79,494 mg. $\text{NH}_3$ /L]; C4[215,225 mg. $\text{NH}_3$ /L].

Para efetuar a determinação de amônia utilizou-se o método colorimétrico de Nessler, descrito por Voguel (1981), onde o reagente Nessler foi adicionado à amostra na proporção de 1:50, e decorrentes 10 minutos, efetuou-se a leitura da absorbância a 525 nm, em espectrofotômetro (HAC DR 5000). Com o valor da absorbância foi verificada a concentração de amônia através de curva padrão obtida a partir da solução de cloreto de amônio. A velocidade de respiração ou consumo de oxigênio pela degradação do substrato foi expressa pela Equação:

$$r_0 = QO_2X$$

Onde,

$r_0$  = velocidade de respiração ou consumo de oxigênio;

$QO_2$  = velocidade específica de respiração (mgO<sub>2</sub>/g cel. h);

$X$  = concentração celular (g cel./L).

Assim, o balanço de massa para o oxigênio nesse sistema foi:

$$\frac{dC}{dt} = KLa(C_s - C) - QO_2X$$

Na qual o termo  $KLa(C_s - C)$  ( $C_s$  = concentração de O<sub>2</sub> na saturação,  $C$  = concentração no líquido) diz respeito à transferência de oxigênio. Quando a transferência foi anulada, por eliminação da aeração, obtivemos:

$$\frac{dC}{dt} = -QO_2X$$

O que resultou na equação integrada:  $C = C_0 - QO_2X * t$

Portanto, foi determinado o modelo linear (fig. 6) entre a concentração de oxigênio dissolvido ( $C$ ) e o tempo ( $t$ ).

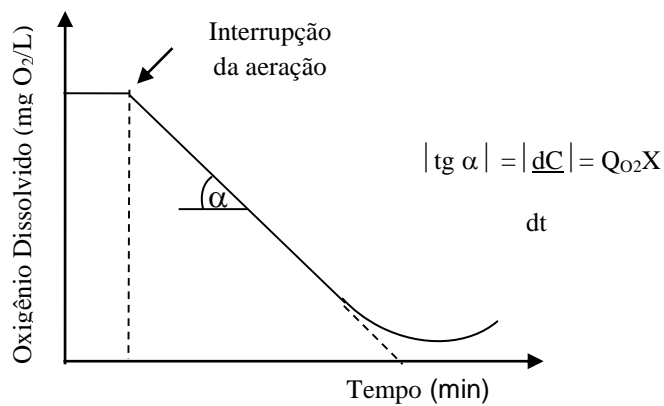
Com os dados obtidos foi traçado o modelo de gráfico de Monod – cinética de Michaelis-Menten – as reações catalisadas por enzimas são saturáveis, e a sua velocidade de catálise não indica uma resposta linear face ao aumento de substrato. Se a velocidade inicial da reação é medida sobre uma escala de concentrações de substrato (denotada como  $[S]$ ), a

velocidade de reação ( $V$ ) aumenta com o acréscimo de  $[S]$ . Todavia, à medida que  $[S]$  aumenta, a enzima satura-se e a velocidade atinge o valor máximo ( $V_{max.}$ ), segundo a equação abaixo:

$$QO_2 = \frac{QO_{2\ max} \cdot [N - NH_3]}{[N - NH_3] + K_s}$$

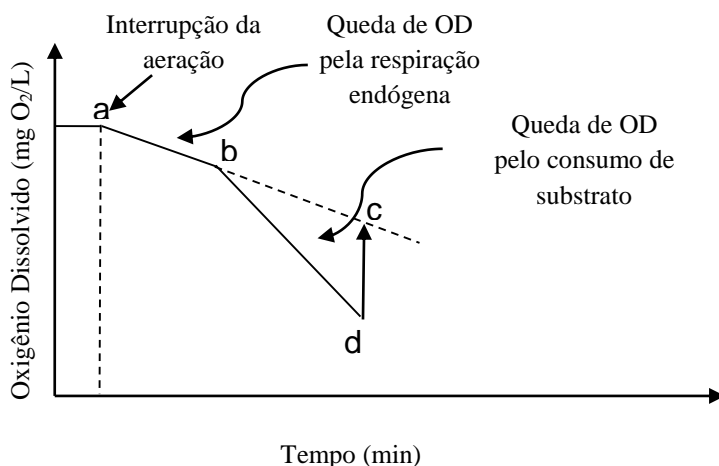
\* $K_s$  = afinidade pelo substrato  $mg[N-NH_3] / L$

Figura 6: Modelo da relação do consumo de oxigênio dissolvido (OD) em função do tempo (t).



É importante ressaltar que o consumo do oxigênio dissolvido ocorre devido à respiração endógena e à degradação do substrato pela biomassa, sendo necessária a distinção entre as duas quedas (fig. 7).

Figura 7: Exemplo do efeito da adição de substrato na respiração do lodo - O intervalo a - b representa a queda de oxigênio relativa à respiração endógena. A reta b - d diz respeito ao consumo de oxigênio para a oxidação biológica substrato. A diferença entre c e d, portanto refere-se exclusivamente ao consumo de oxigênio devido à utilização do substrato pelos micro-organismos.



Deste modo o  $QO_2X$  encontrado deve ter que ser reduzido do valor encontrado para a queda da endógena.

### 2.3.3. Microscopia eletrônica.

A fim de verificar a estrutura da fibra sintética utilizada como suporte biológico e a colonização deste material pelas bactérias, amostras da fibra sintética foram coletadas dos reatores do RAS ao final dos testes de respirometria e foram fixadas em solução de glutaraldeído 2.5 %, sacarose 2.0 %, tamponadas com cacodilato 0.1 M (pH 7.2) (Schmidt et al., 2010). Em seguida, foram desidratadas em séries etanólicas e secas em ponto crítico EM-CPD-030 (Leica, Heidelberg, Alemanha). Subsequentemente, as amostras foram aderidas a suportes metálicos e metalizadas (Metalizador Blatec, CED 030) com ouro. A análise e fotomicrografias foram feitas em MEV Jeol 6390 LV (JEOL Ltd., Tokyo, Japão, a 20 kV).

### 2.4. Ensaio com Tilápia - *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758).

Ao final do ensaio de colonização da mídia (item 2.3.1.), a unidade experimental foi povoada primeiramente com peixes onívoros da espécie *Oreochromis niloticus*, os quais receberam ração comercial (KOWALSKI®) extrusada 35 % de proteína (fig. 8) como alimentação durante o período de 60 dias.



Nessa primeira etapa, 120 tilápias provenientes de piscicultura comercial, localizada na cidade de Presidente Getúlio/SC, foram utilizadas para povoar os 24 tanques do sistema de recirculação. Os animais foram aclimatados conforme as boas práticas de manejo em piscicultura, respeitando o tempo necessário para os peixes se adaptarem aos padrões de qualidade da água no RAS. Apresentavam peso médio inicial de  $32,11 \pm 7,60$  g, representando, aproximadamente, biomassa inicial total de 3,8 kg no sistema na densidade de  $1,97 \text{ kg/m}^3$ .

Os animais foram alimentados quatro vezes ao dia, com quantidade de ração correspondente a 3 % da biomassa viva.

Figura 8: Ração comercial extrusada com teor de 35 % proteína utilizada na alimentação das tilápias durante o experimento.



Fonte: o autor

## 2.5. Ensaio com Jundiá - *Rhamdia quelen* (Quoy e Gaimard, 1824).

Na segunda etapa do experimento o sistema foi reestabelecido a condição primária de experimentação, no qual se aplicou um período de vazio sanitário à unidade experimental; higienizou-se o filtro biológico; e testou-se o sistema por mais 60 dias com peixes onívoros,

com tendência carnívora, *Rhamdia quelen*, e ração experimental peletizada (fig. 9) com teor de proteína de 42 %.

Nesta fase 480 peixes provenientes de piscicultura comercial da cidade de Lages/SC, foram utilizados para povoar os 24 tanques do sistema de recirculação. Os animais foram aclimatados conforme as boas práticas de manejo em piscicultura, respeitando o tempo necessário para os peixes se adaptarem aos padrões de qualidade da água no RAS. Os peixes estavam com peso médio inicial de  $11,34 \pm 2,4$  g, com uma biomassa inicial total aproximada de 5,4 kg no sistema na densidade de 2,81 kg/m<sup>3</sup>.

Os animais foram alimentados quatro vezes ao dia, com quantidade de ração correspondente a 3 % da biomassa viva.

Figura 9: Ração experimental peletizada com teor de 42 % proteína utilizada na alimentação de jundiás durante o experimento.



Fonte: o autor

## 2.6. Parâmetros zootécnicos dos animais cultivados

Avaliou-se também, durante o experimento, o ganho em peso das espécies utilizadas; e taxas de sobrevivência.

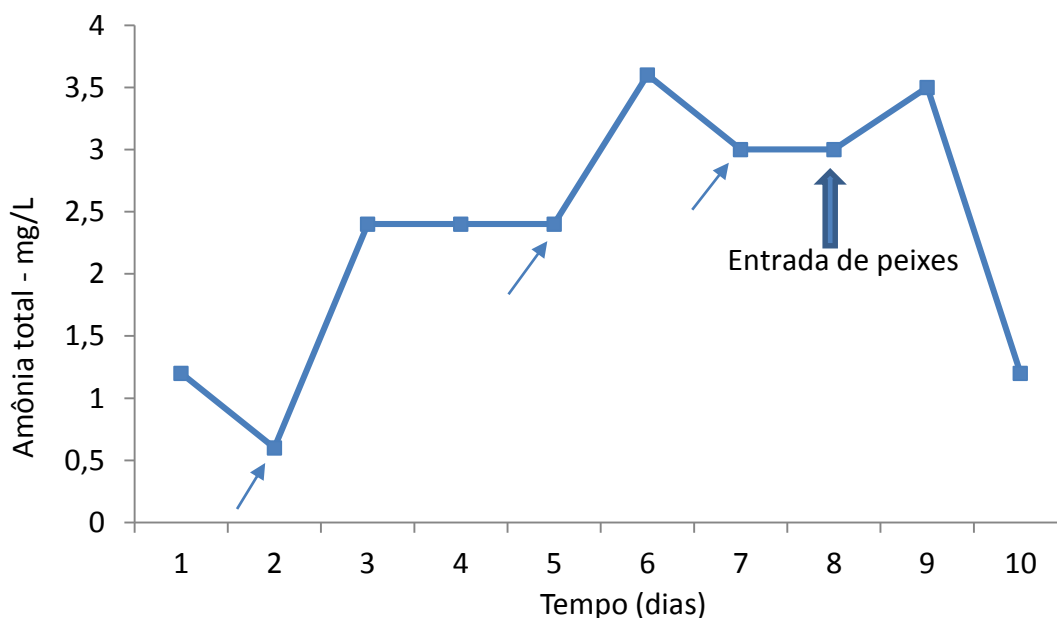
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Colonização das fibras sintéticas para suporte biológico.

A maturação do filtro biológico do RAS começou a ser observada nos primeiros dias de experimento de engorda de tilápias-do-nilo, após a inoculação do produto comercial NITE-OUT II. As análises de amônia total, amônia tóxica e nitrito apresentaram alterações de valores nos primeiros momentos, comprovando a atividade de nitrificação já nos primeiros dias, ficando as médias dos sete primeiros dias em TAN  $2,23 \pm 1,02$  mg/L,  $\text{N-NH}_3$   $0,01 \pm 0,01$  mg/L e  $\text{N-NO}_2$   $0,54 \pm 0,035$  mg/L, respectivamente.

Observou-se alterações (aumentos e reduções) nos valores da concentração de TAN no sistema. Isso ocorreu devido ao manejo de inclusão de fonte de nitrogênio no sistema, onde era adicionado o caldo de ração nas situações em que se observava redução de TAN (fig. 10).

Figura 10: Variação temporal da concentração da amônia total nos primeiros dias de experimento após aplicação do protocolo de colonização da fibra sintética para suporte biológico utilizando o produto comercial e caldo de ração. As setas indicam a adição do caldo de ração nos momentos onde eram observadas as quedas na concentração de TAN.



A cinética obedeceu a esse padrão até o nono dia, quando obtivemos uma queda acentuada na concentração de TAN. Com uma concentração de amônia total próxima a 3,5

mg/L, verificou-se a redução para patamares próximos a 1,2 mg/L, evidenciando a ocorrência da nitrificação.

A amônia tóxica e o nitrito (fig. 11, 12) não apresentaram picos elevados nesses primeiros dias, nos quais a concentração destes compostos correspondeu ao padrão de um biofiltro que está realizando o ciclo do nitrogênio em seu interior.

Figura 11: Variação temporal da concentração da amônia tóxica nos primeiros dias de experimento após aplicação do protocolo de colonização da fibra sintética para suporte biológico utilizando o produto comercial e o caldo de ração.

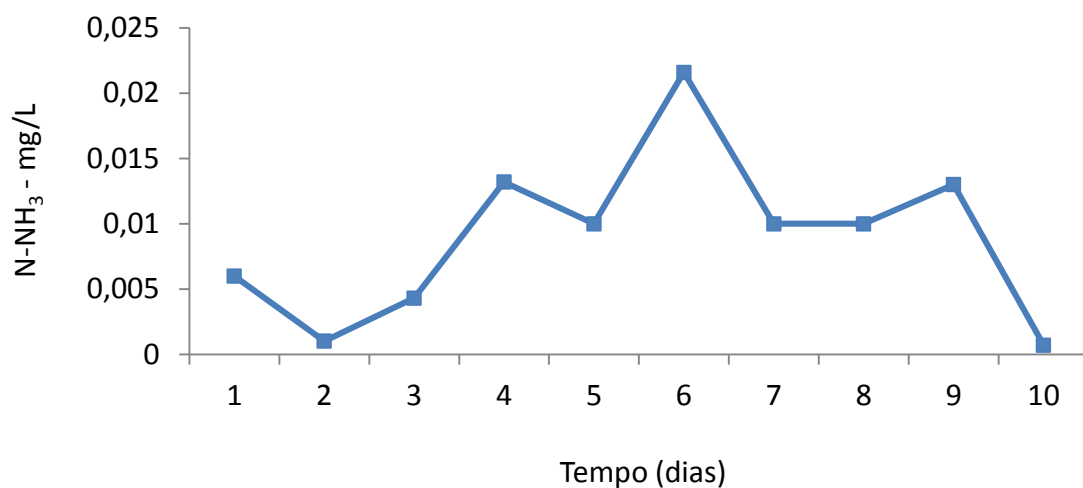
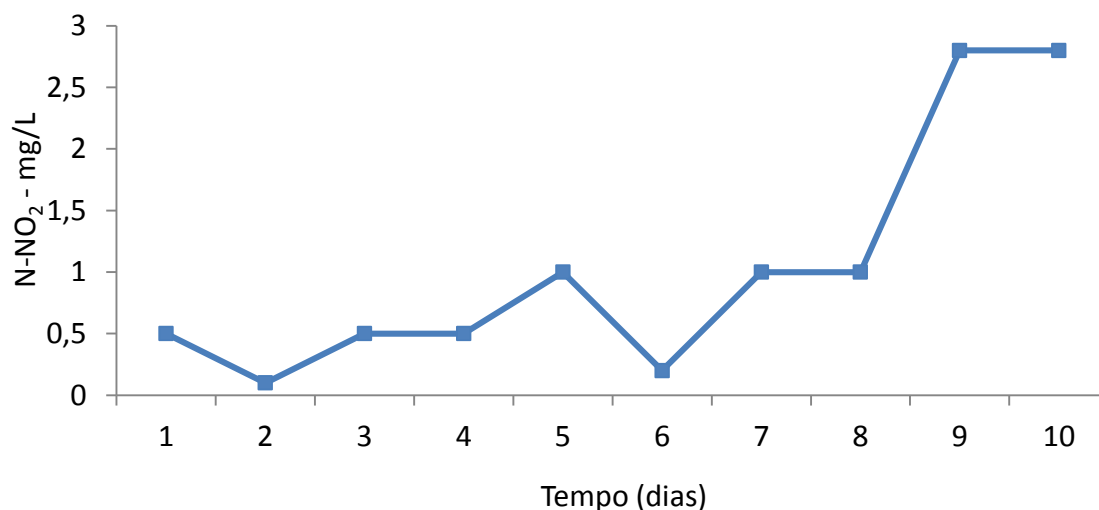


Figura 12: Variação temporal da concentração de nitrito nos primeiros dias de experimento após aplicação do protocolo de colonização da fibra sintética para suporte biológico utilizando o produto comercial e o caldo de ração.



### 3.2. Respirometria

Os ensaios para verificação da respiração endógena e respiração com presença de substrato foram capazes de fornecer informações sobre o consumo de oxigênio em função do tempo, após a interrupção da aeração (tabela 1).

Tabela 1: Consumo de oxigênio frente à oferta de diferentes concentrações de substrato durante os ensaios de respirometria realizados no experimento.

Endógena		C1(mgNH <sub>3</sub> /L)	C2(mgNH <sub>3</sub> /L)	C3(mgNH <sub>3</sub> /L)	C4(mgNH <sub>3</sub> /L)
T= 35°C		35,369	51,628	79,494	215,225
pH=7,83		pH=7,85	pH=7,82	pH=7,79	pH=7,82
Tempo (s)	OD (mg O <sub>2</sub> /L)	OD (mg O <sub>2</sub> /L)	OD (mg O <sub>2</sub> /L)	OD (mg O <sub>2</sub> /L)	OD (mg O <sub>2</sub> /L)
00	6,5	6,6	6,4	6,4	6,4
30	6,3	6,4	6,2	6,2	6,0
60	6,2	6,2	6,0	5,9	5,5
90	6,1	6,1	5,8	5,7	5,1
120	6,0	5,9	5,6	5,2	4,8
150	5,9	5,7	5,4	4,8	4,3
180	5,8	5,5	5,2	4,4	3,9
210	5,6	5,3	4,9	3,9	3,6
240	5,5	5,1	4,6	3,3	3,3
270	5,4	4,8	4,3	2,9	2,7
300	5,2	4,6	3,9	2,5	2,3
330	5,1	4,3	3,6		
360	4,9	4,1	3,3		
390	4,8	3,8	3,0		
420	4,6	3,5	2,7		
450	4,5	3,2			
480	4,4	2,9			
510	4,2	2,7			
540	4,0	2,4			
570	3,9				
600	3,8				
630	3,7				
660	3,5				
690	3,4				
720	3,3				
750	3,2				
780	3,0				
810	3,0				
840	2,9				
870	2,7				
900	2,6				

Com os dados da tabela foi possível traçar os gráficos referentes à equação 04:

$$C = C_0 - QO_2X * t$$

Para a respiração endógena e para cada pulso imposto ao meio plotou-se os valores do oxigênio dissolvido pelo tempo, obtendo-se assim uma relação linear na qual o coeficiente angular é referente à velocidade de consumo de OD,  $QO_2X$  (mgO<sub>2</sub>/L.min).

Figura 13: Relação linear entre o consumo de oxigênio ao longo do tempo na respiração endógena através dos valores obtidos em intervalos de 30 segundos durante o ensaio respirométrico.

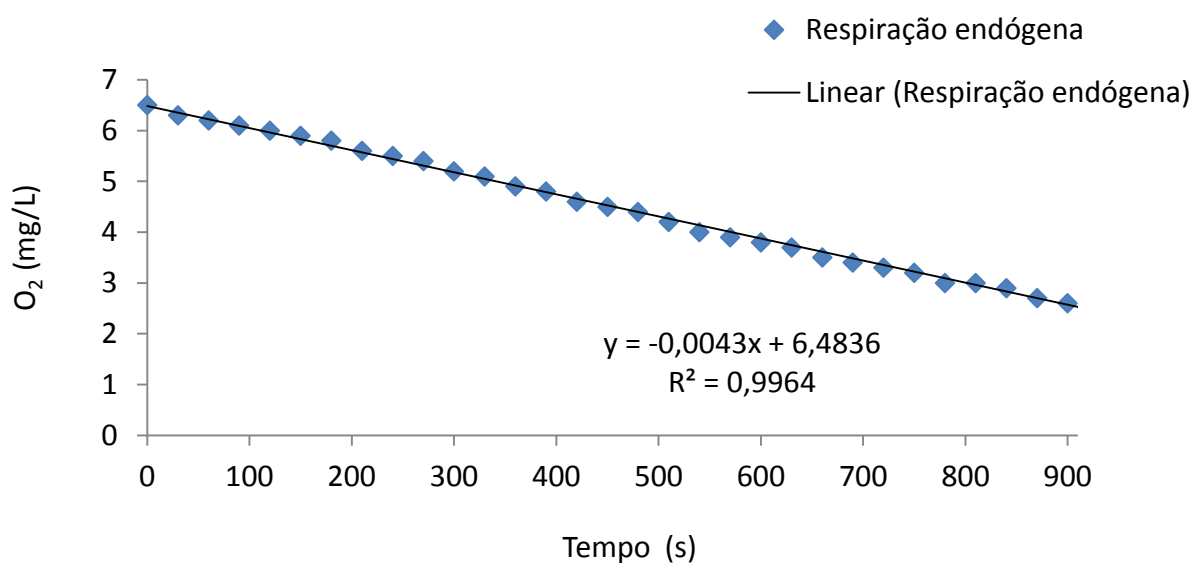


Figura 14: Relação linear entre o consumo de oxigênio ao longo do tempo com a presença do substrato cloreto de amônio (NH<sub>4</sub>Cl). Os valores foram registrados em intervalos de 30 segundos durante o ensaio respirométrico. C1= 35,369 mg.NH<sub>3</sub>/L (C1 é a concentração do pulso de amônia em mg/L).

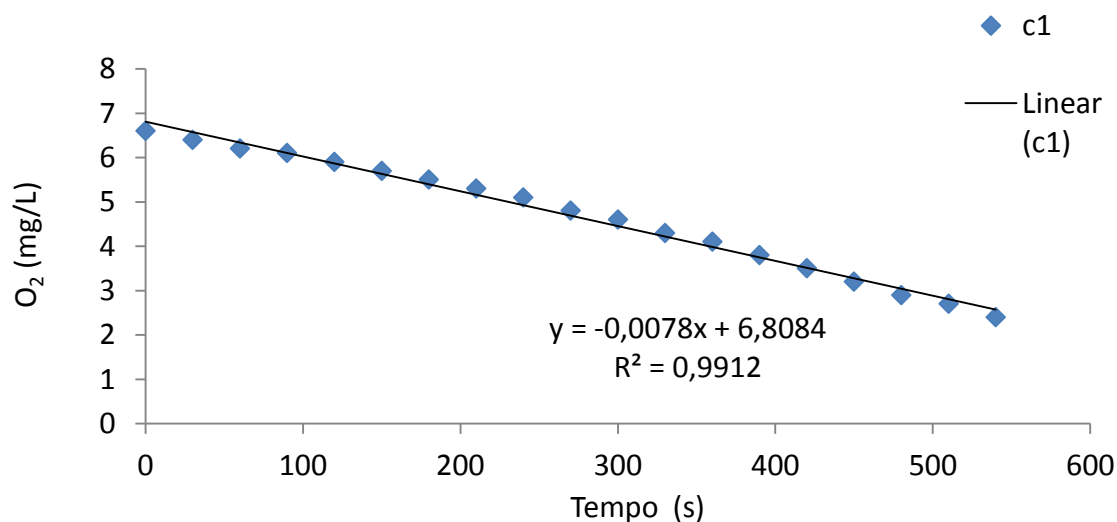


Figura 15: Relação linear entre o consumo de oxigênio ao longo do tempo com a presença do substrato cloreto de amônio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). Os valores foram registrados em intervalos de 30 segundos durante o ensaio respirométrico. C2= 51,628 mg. $\text{NH}_3$ /L (C2 é a concentração do pulso de amônia em mg/L).

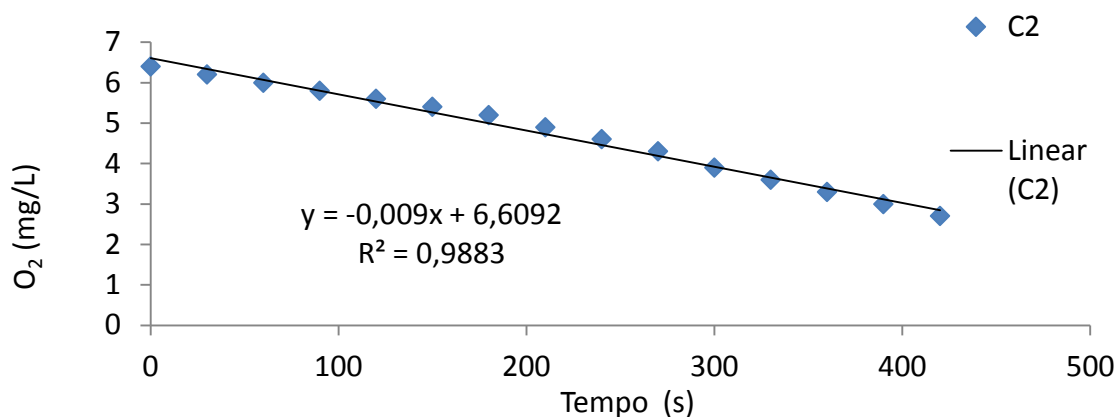


Figura 16: Relação linear entre o consumo de oxigênio ao longo do tempo com a presença do substrato cloreto de amônio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). Os valores foram registrados em intervalos de 30 segundos durante o ensaio respirométrico. C3= 79,494 mg. $\text{NH}_3$ /L (C3 é a concentração do pulso de amônia em mg/L).

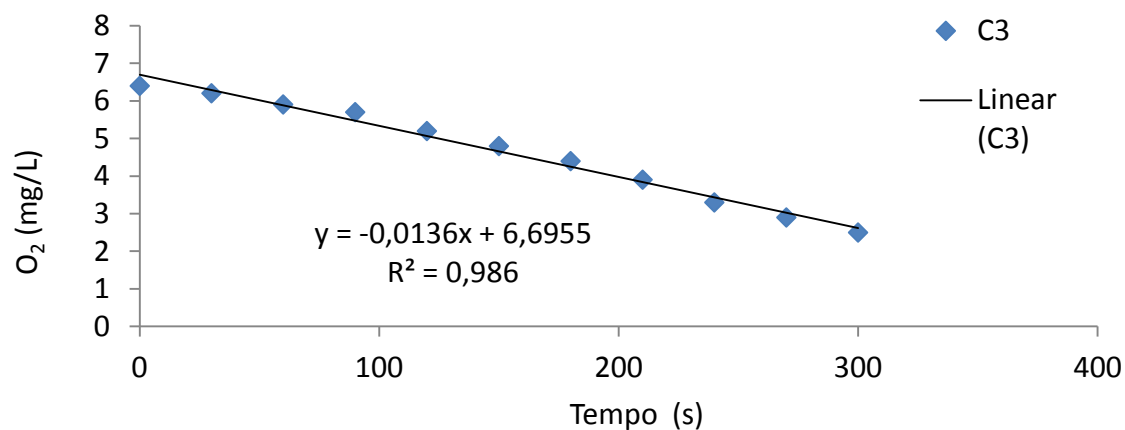
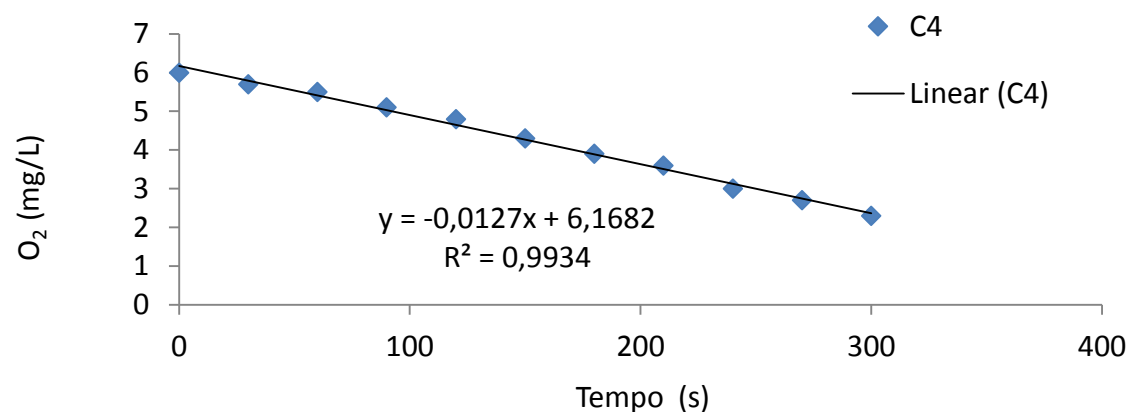


Figura 17: Relação linear entre o consumo de oxigênio ao longo do tempo com a presença do substrato cloreto de amônio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). Os valores foram registrados em intervalos de 30 segundos durante o ensaio respirométrico. C4= 215,225 mg. $\text{NH}_3$ /L (C4 é a concentração do pulso de amônia em mg/L).



### 3.2.1. Resultado do consumo específico de oxigênio

Do valor encontrado para cada pulso descontou-se o valor relativo de  $QO_2X$  referente à respiração endógena e então se dividiu o valor resultante pela concentração celular já determinada encontrando desta forma a velocidade específica de consumo de oxigênio –  $QO_2$  ( $mgO_2/gSST.min$ ) – (tabela 2).

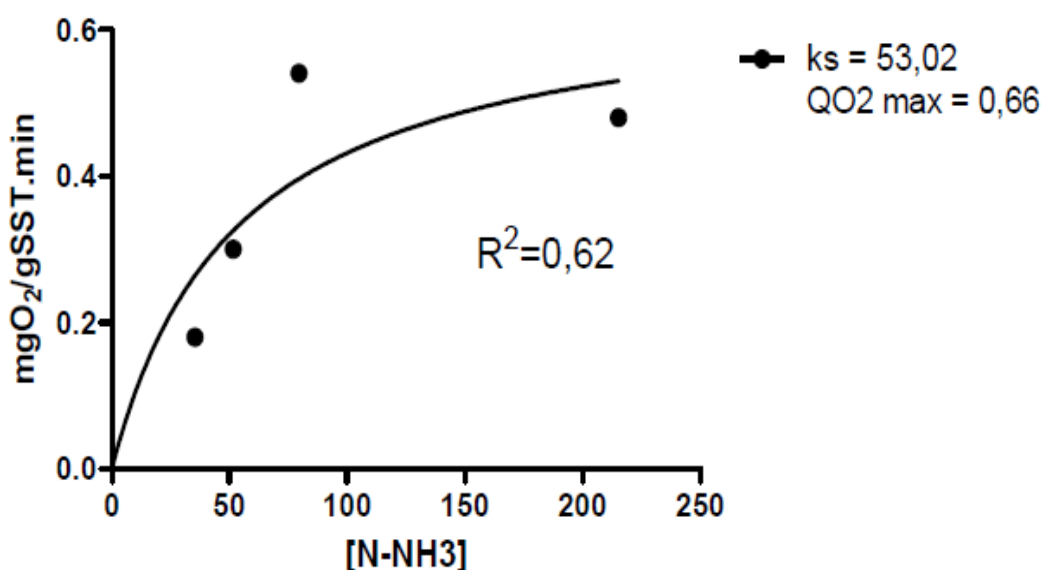
Tabela 2: Valores do consumo específico de oxigênio frente a diferentes concentrações de substrato obtidos através dos gráficos do modelo linear entre a concentração de oxigênio dissolvido e o tempo.

TESTE	$QO_2X$	$QO_2X$ (corrigido)	$QO_2$
	$mgO_2/L.s$	$mgO_2/L.s$	$mgO_2/gSST.min$
Endógeno	0,004	-	
C1	0,007	0,003	0,18
C2	0,009	0,005	0,30
C3	0,013	0,009	0,54
C4	0,012	0,008	0,48

A partir das velocidades de consumo de oxigênio e das respectivas concentrações de  $N-NH_4^+$  determinou-se os parâmetros  $QO_2X_{máx}$ ,  $K_s$  mais adequados para a definição do modelo de Monod (fig. 18), assumido como adequado para a situação.



Figura 18: Gráfico de monod – cinética de Michaelis-Menten – consumo de oxigênio em função do tempo (resposta não linear) face ao aumento de substrato.



Observando os resultados, percebe-se através dos valores de  $\text{QO}_2$  uma atividade de respiração dos microrganismos frente à oferta de substrato, pois esse valor aumenta frente o aumento da concentração de amônia no meio. Testes como este são muito utilizados, pois permitem uma quantificação sensível de atividade metabólica de pequenas amostras de biomassa, através da relação entre de consumo de oxigênio por uma determinada biomassa ao longo do tempo.

Através da quantificação da respiração da biomassa podemos determinar a capacidade de remoção de substâncias orgânicas (Urfer e Huck, 2001). A cinética de consumo de oxigênio (fig. 14, 15, 16 e 17) é o fator que dá confiabilidade ao teste, mostrando a atividade metabólica dos micro-organismos presentes no meio. Spanjers et al. (1993), afirmam que normalmente observa-se uma linearidade na relação entre o substrato e demanda de oxigênio. A inclinação da reta dos gráficos obtidas nos resultados do presente trabalho é a relação linear entre a quantidade de substrato inserida no meio e a demanda de oxigênio.

Costa et al. (2007), ao monitorar a atividade bacterina em processos de lodos ativados obtiveram perfis de consumo de oxigênio muito similares aos encontrados neste experimento,

e apesar de terem utilizado um sistema piloto com volume superior em escala temporal contínua durante dias, observaram por meio de respirometria, um comportamento cinético de consumo de oxigênio semelhantes aos encontrados no presente estudo. Descreve, ainda, que a respirometria é uma ferramenta muito útil para avaliar a capacidade metabólica dos micro-organismos, sendo um instrumento confiável e prático para avaliar a cinética de nitrificação.

Gernaey et al. (2001), compararam a taxa de consumo de oxigênio em lodos ativados com diferentes concentrações de matéria orgânica através de testes de respirometria e também observaram uma relação linear entre a oferta de substrato e o consumo de oxigênio, sendo que a taxa de consumo de oxigênio somente é igual quando a concentração de substrato é idêntica. Isso se confirma pelos resultados obtidos (3.2.1.), onde se torna possível aplicar a técnica de respirometria para definir as características de águas residuais através da atividade microbiana.

Outros trabalhos descrevem o uso da técnica de respirometria para verificar atividade bacteriana nas mais variadas atividades de degradação de substratos. Pineda et al. (2000), verificaram a capacidade de degradar vapores de tolueno com biofiltro e estimaram a biomassa ativa presente no suporte biológico do filtro através de testes de respirometria.

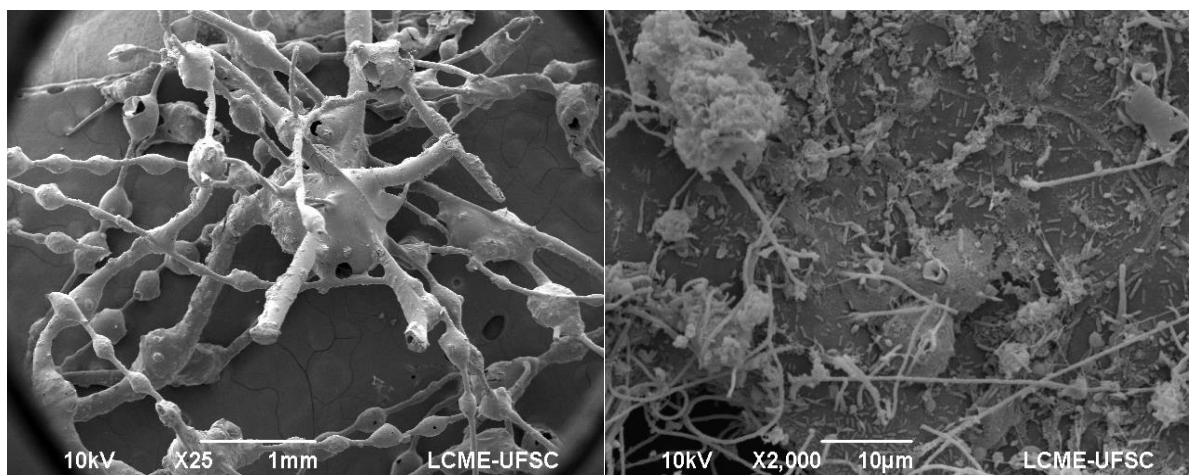
Isto nos dá a indicação de que o teste de respirometria é peça fundamental e plausível para comprovar a presença ou ausência de comunidades microbianas em processos de consumo de substratos diversos. No presente estudo, os testes de respirometria com as amostras coletadas nos reatores do sistema de recirculação experimental confirmaram a efetiva colonização das fibras sintéticas.

### 3.3. Microscopia eletrônica

Foi verificada a colonização de bactérias nas fibras sintéticas através da microscopia eletrônica de varredura (Fig. 19). É possível observar a colonização da fibra sintética por bactérias com morfologia semelhante aos grupos das *nitrossomonas*, *nitrospira* e *nitrobacter*.

Além disso, pode-se verificar a estrutura porosa e ramificada das mídias, apresentando indicativos positivos para sua utilização em reatores biológicos.

Figura 19: Estrutura da mídia biológica do tipo fibra sintética (*Synthetic Steel Wool*) em Microscopia eletrônica de varredura (MEV) (A). Colonização bacteriana na mídia biológica (B).



Detalhes das colônias de bactérias que atuam nos processos de nitrificação em reatores biológicos foram descritos por Schramm et al. (1998), durante um estudo de identificação e atividade de bactérias nitrificantes, onde relatou como principais agregados nitrificantes os gêneros *Nitrosospira* e *Nitrospira* spp.

### 3.4. Ensaaios experimentais

#### 3.4.1. Ensaio com Tilápia - *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758).

A temperatura e o oxigênio dissolvido mantiveram um padrão de regularidade durante todo o experimento, sem grandes oscilações.

Durante a primeira etapa do experimento, caracterizado pela engorda de tilápias-do-nylo (*Oreochromis niloticus*) com ração comercial extrusada, as variáveis físico-químicas de qualidade da água se mantiveram dentro dos padrões de exigência da espécie conforme Popma et al. (1996), e as variáveis apresentaram as seguintes médias e desvio padrão: oxigênio dissolvido (OD)  $6,97 \pm 1,25$  mg/L; pH  $6,78 \pm 0,46$ ; temperatura  $24,41 \pm 1,25$  °C; amônia total (TAN)  $1,45 \pm 1,21$  mg/L; amônia tóxica (N-NH<sub>3</sub>)  $0,004 \pm 0,003$  mg/L; nitrito (N-NO<sub>2</sub>)  $1,25 \pm 0,98$  mg/L e alcalinidade  $38,90 \pm 21,19$  mg CaCO<sub>3</sub>/L.

### 3.4.2. Ensaio com Jundiá - *Rhamdia quelen* (Quoy e Gaimard, 1824).

No segundo ensaio experimental, em que o delineamento foi caracterizado pela engorda de jundiás (*Rhamdia quelen*) com ração experimental peletizada, as variáveis físico-químicas de qualidade da água também se mantiveram dentro dos padrões exigidos pela espécie, conforme Borghetti et al. (2003). As variáveis apresentaram os seguintes valores: oxigênio dissolvido (OD)  $6,70 \pm 0,41$  mg/L; pH  $7,27 \pm 0,33$ ; temperatura  $28,81 \pm 0,83$  °C; amônia total (TAN)  $0,17 \pm 0,15$  mg/L; amônia tóxica (N-NH<sub>3</sub>)  $0,003 \pm 0,003$  mg/L; nitrito (N-NO<sub>2</sub>)  $0,56 \pm 0,61$  mg/L e alcalinidade  $19,35 \pm 4,47$  mg CaCO<sub>3</sub>/L.

Os resultados, em ambos os ensaios, demonstram claramente que os processos biológicos que regem a qualidade da água ocorreram de maneira adequada, correspondendo perfeitamente às expectativas relacionadas aos parâmetros. Podemos observar que as variáveis físico-químicas de qualidade da água possuem uma cinética de comportamento que evidenciam uma relação de codependência e de antagonismo entre elas (fig. 24, 25, 26 e 27).

No ensaio, de engorda de tilápias-do-nilo, pode-se notar um padrão de estabilidade entre o dia 1 até o dia 7. Isso se justifica por se tratar do período de aclimação, no qual os peixes ainda não estavam submetidos às condições de tratamento proposto no experimento.

A partir do dia 8 a suplementação diária de ração para engorda das tilápias passou aos padrões propostos, ou seja, quatro vezes ao dia representado por 3 % da biomassa dos animais. A partir deste momento a atividade metabólica dos peixes elevou-se aumentando as concentrações de catabólitos dentro do sistema, resultando na queda acentuada do pH no dia 09. Contudo a concentração de íons H<sup>+</sup> foi estabelecida aos padrões aceitáveis no dia 11. Isso pode ser atribuído à ótima oferta de oxigênio no sistema e ao reator de conchas calcárias do sistema de filtragem.

Figura 20: Variações do pH no decorrer do período experimental no qual os tanques foram povoados com tilápias-do-nilo.

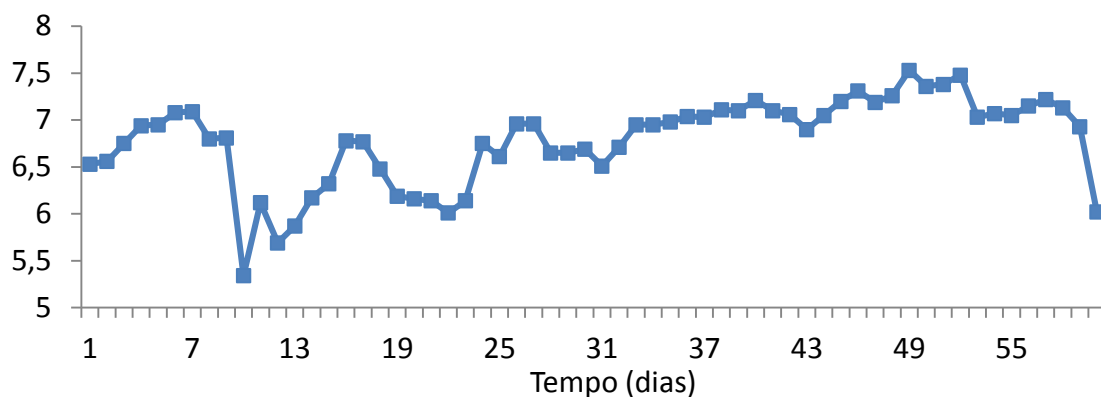
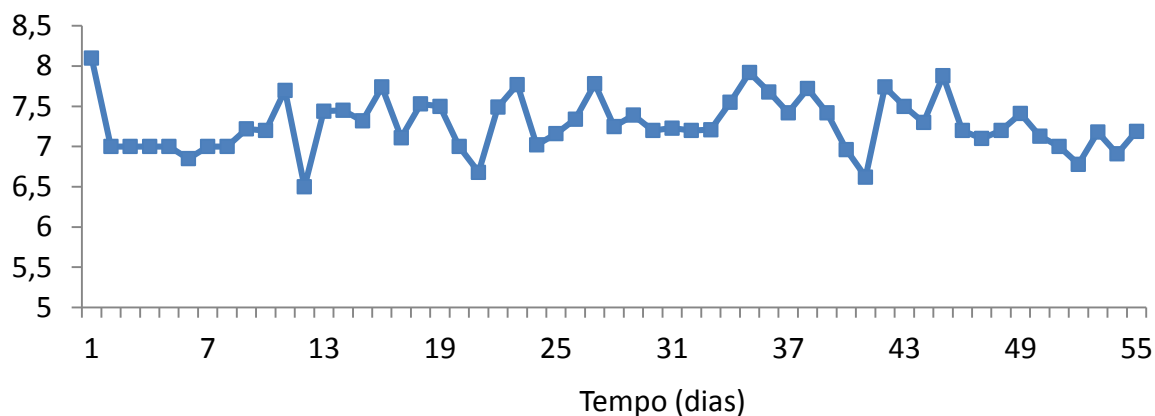


Figura 21: Variações do pH no decorrer do período experimental no qual os tanques foram povoados com jundiás.



No segundo ensaio com jundiás foi observada maior estabilidade dos parâmetros monitorados no sistema de filtração, não apresentando o comportamento de oscilação acentuada no início. Isso pode ser explicado pelo fato de que os biorreatores já contavam com uma comunidade de bactérias nitrificantes estabelecida no seu interior a partir do inóculo utilizado inicialmente para maturação primária do biofiltro.

Timmons e Ebeling (2010), descrevem que os níveis de alcalinidade e dióxido de carbono devem receber uma monitoração mais apurada, pois os mesmos interferem diretamente na manutenção do pH.

O pH apresentou oscilações pontuais ao longo dos ensaios experimentais com tilápias-do-nilo e jundiás (fig. 24, 25). Isso demonstra a complexidade de interações descritas por Timmons e Ebeling (2010), no qual relata a complexa relação do potencial hidrogeniônico

(pH) com a amônia não ionizada, tendo uma toxicidade muito maior em condições de pH mais alto.

Al-Hafedh et al. (2003), descreveram o desempenho de diferentes materiais plásticos utilizados como suportes biológicos (rolos plásticos, tubo de PVC e esponjas de limpeza), em biofiltros de sistemas de recirculação para tilápia-do-nilo, aplicando densidades de 20 kg/m<sup>3</sup>. Na ocasião, relataram os valores das variáveis físico-químicas de qualidade da água temperatura  $24,36 \pm 0,4$  °C; OD  $6,12 \pm 0,23$  mg/L; pH  $7,77 \pm 0,05$ ; TAN  $0,92 \pm 0,05$  mg/L e N-NO<sub>2</sub>  $0,22 \pm 0,04$  mg/L; como dentro dos limites permitidos nos tanques de criação, sem afetar a saúde dos peixes. Ressaltaram ainda a importância da alcalinidade sobre o processo bioquímico da nitrificação em sistemas de recirculação, sendo este, um processo acidificante para o sistema, consumindo a alcalinidade; bem como a importância da manutenção do pH em uma faixa localizada entre 7,0 e 8,0; considerada ótima para o metabolismo das bactérias nitrificantes. Padrões estes, semelhantemente encontrados em ambos os experimentos desta pesquisa.

Durante ensaios de qualidade da água em sistema de recirculação, utilizando juvenis de uma espécie híbrida de robalo, com aproximadamente 60 g de peso e densidade de 320 peixe/tanque, Singh et al. (1999), obtiveram médias variando entre  $0,67 \pm 0,17$  e  $0,90 \pm 0,36$  mg/L para TAN;  $0,26 \pm 0,19$  e  $0,89 \pm 0,93$  mg/L para N-NO<sub>2</sub>;  $5,75 \pm 0,77$  e  $6,92 \pm 0,60$  mg/L para OD em filtros percoladores e filtros submersos aerados respectivamente, destacando o bom desempenho dos processos de nitrificação nos sistemas experimentais através dos resultados de qualidade da água.

Guerdat et al. (2010), ao avaliar três modelos de filtros biológicos (areia fluidizado, esferas flutuantes e leito móvel), disponíveis comercialmente para sistemas de recirculação em aquicultura, utilizaram aproximadamente 5000 tilápias-do-nilo, estocadas em um tanque de 60 m<sup>3</sup>, com biomassa inicial de 1115 kg. Descreveram como estável os parâmetros obtidos

onde descreveram: temperatura  $28,9 \pm 2,3$  °C, OD  $5,8 \pm 0,8$  mg/L, pH  $7,16 \pm 0,14$ , TAN  $0,69 \pm 0,3$  mg/L e N-NO<sub>2</sub>  $2,1 \pm 1,5$  mg/L.

Estes valores são similares aos obtidos no presente estudo, evidenciando o ótimo desempenho do sistema de filtração.

Colt et al. (2006), ao desenvolverem um relatório-padrão para estudos de desempenho de biofiltros, relatam a pouca ocorrência de estudos que definam estatisticamente um biofiltro estabilizado. Apenas representações gráficas nas quais a TAN é representada em uma linha horizontal reta o longo do tempo. Por outro lado, um biofiltro estável deve ser capaz de manter os níveis de TAN e N-NO<sub>2</sub> abaixo de 0,7 mg/L com uma carga de amônia diária em torno de 8,64 g durante 7 dias consecutivos (Sandu et al., 2002), quando a carga de TAN que é removida for igual a carga que entra no sistema (Zhu e Chen, 2001). No presente estudo, foi possível verificar esse padrão de estabilidade do biofiltro nos dois ensaios, principalmente no ensaio de engorda de jundiás, onde os valores de TAN e N-NO<sub>2</sub> se mantiveram abaixo de 0,5 mg/L durante, praticamente, todo o período de engorda.

Figura 22: Média e desvio padrão das variáveis físico-químicas de qualidade da água durante a engorda de tilápias-do-nilo em sistema de recirculação durante 60 dias.

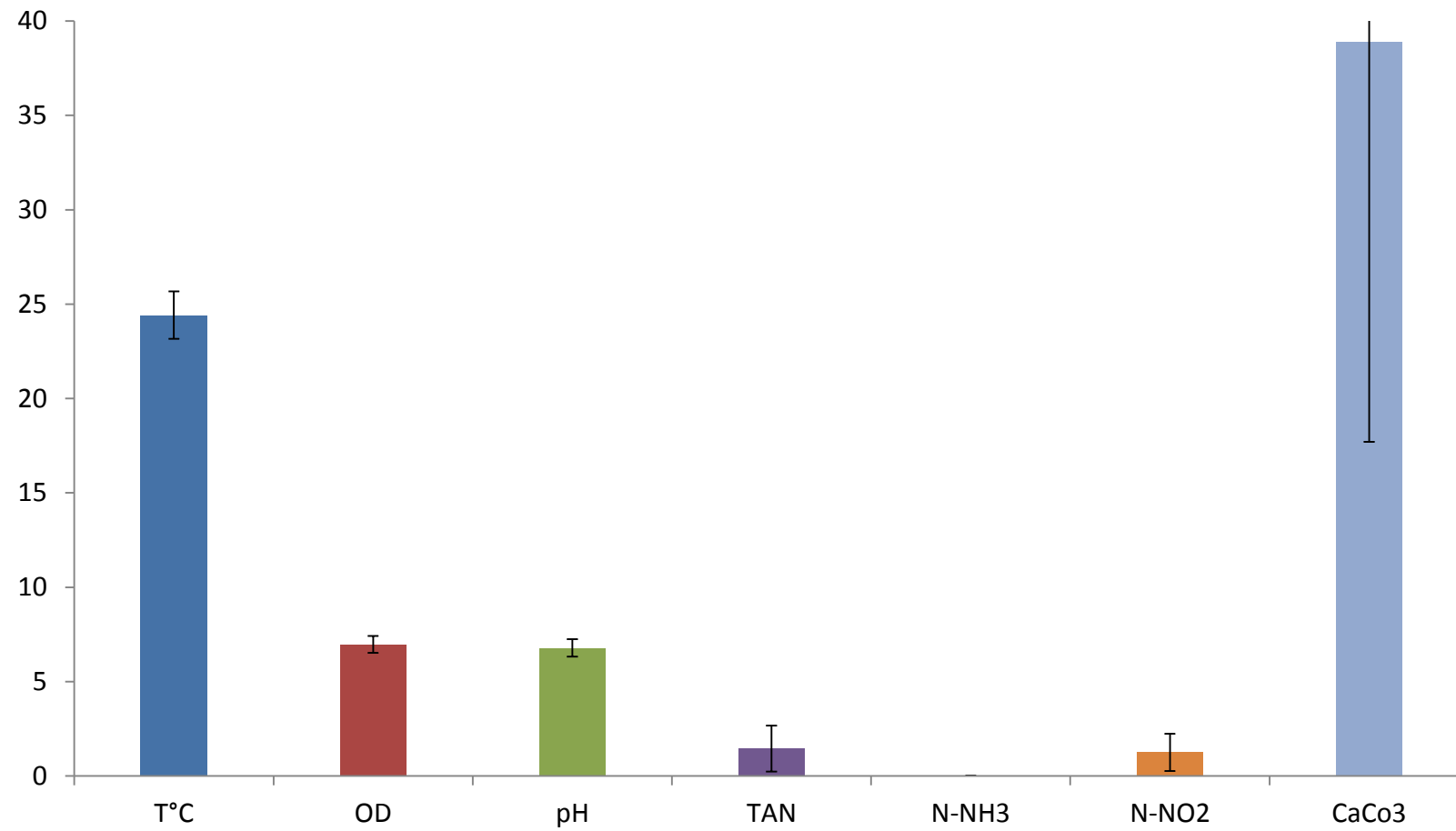




Figura 23: Média e desvio padrão das variáveis físico-químicas de qualidade da água durante a engorda de jundiás em sistema de recirculação durante 60 dias.

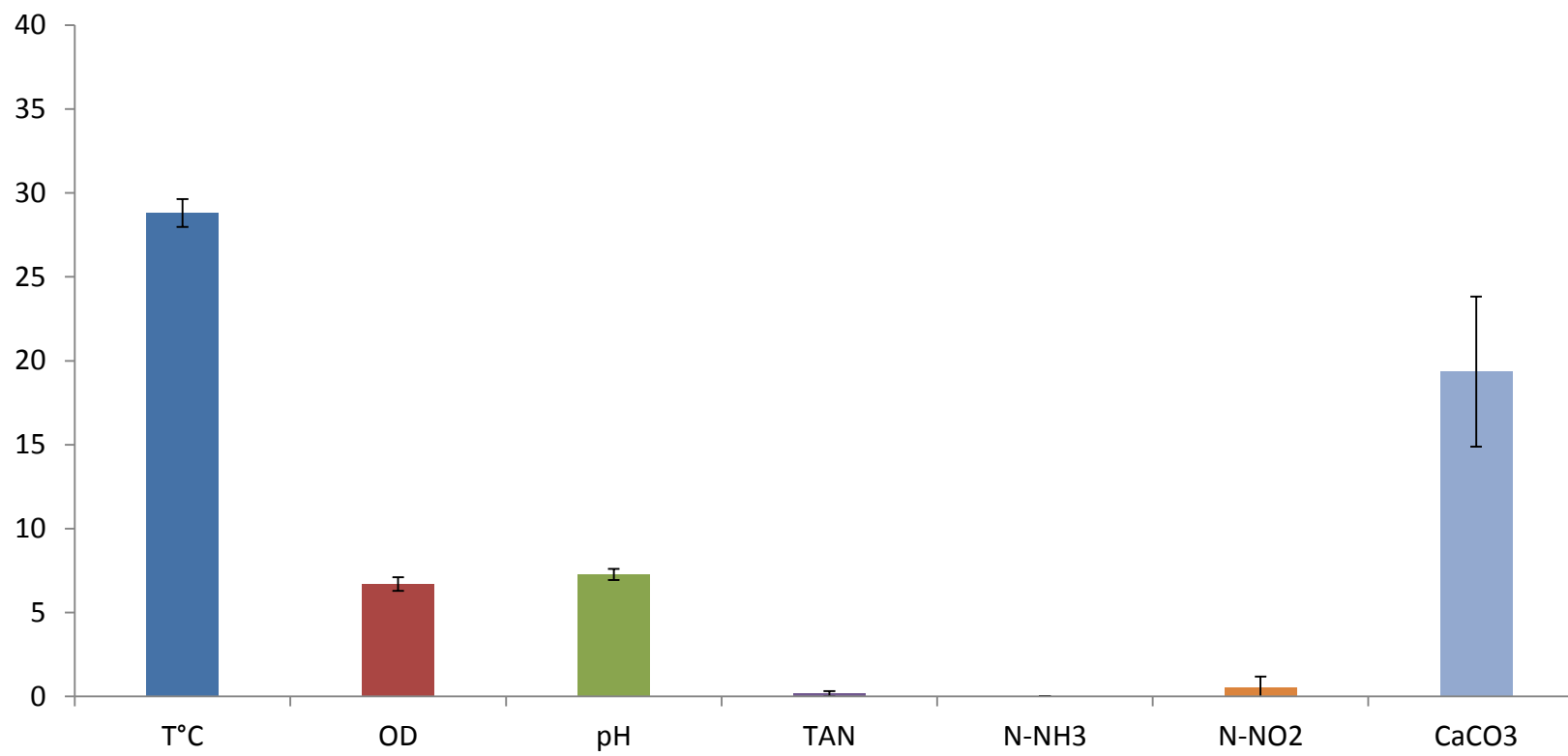


Figura 24: Média e desvio padrão das variáveis físico-químicas de qualidade da água durante a engorda de tilápias-do-nilo em sistema de recirculação durante 60 dias.

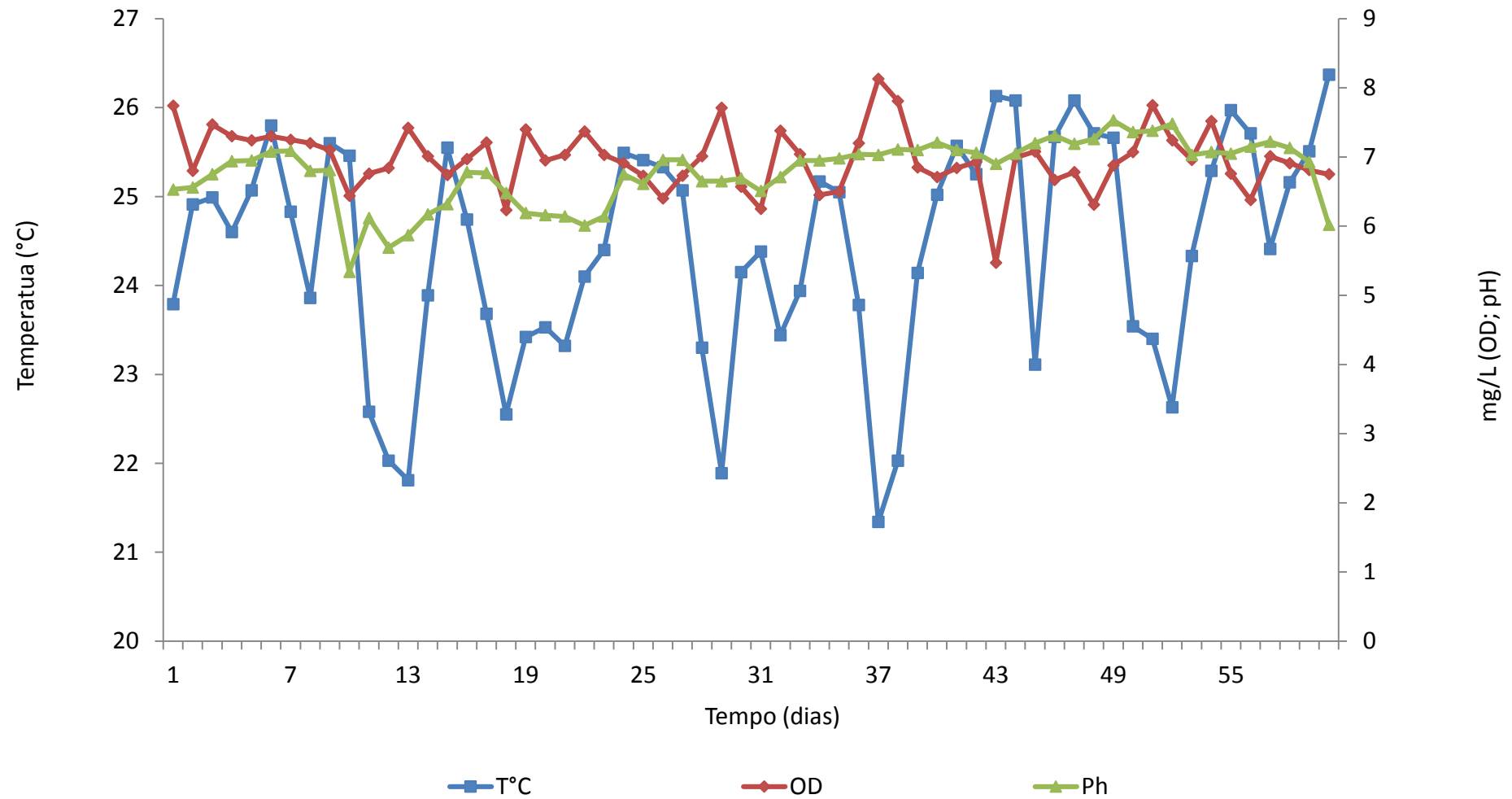


Figura 25: Média e desvio padrão das variáveis físico-químicas de qualidade da água durante a engorda de jundiás em sistema de recirculação durante 60 dias.

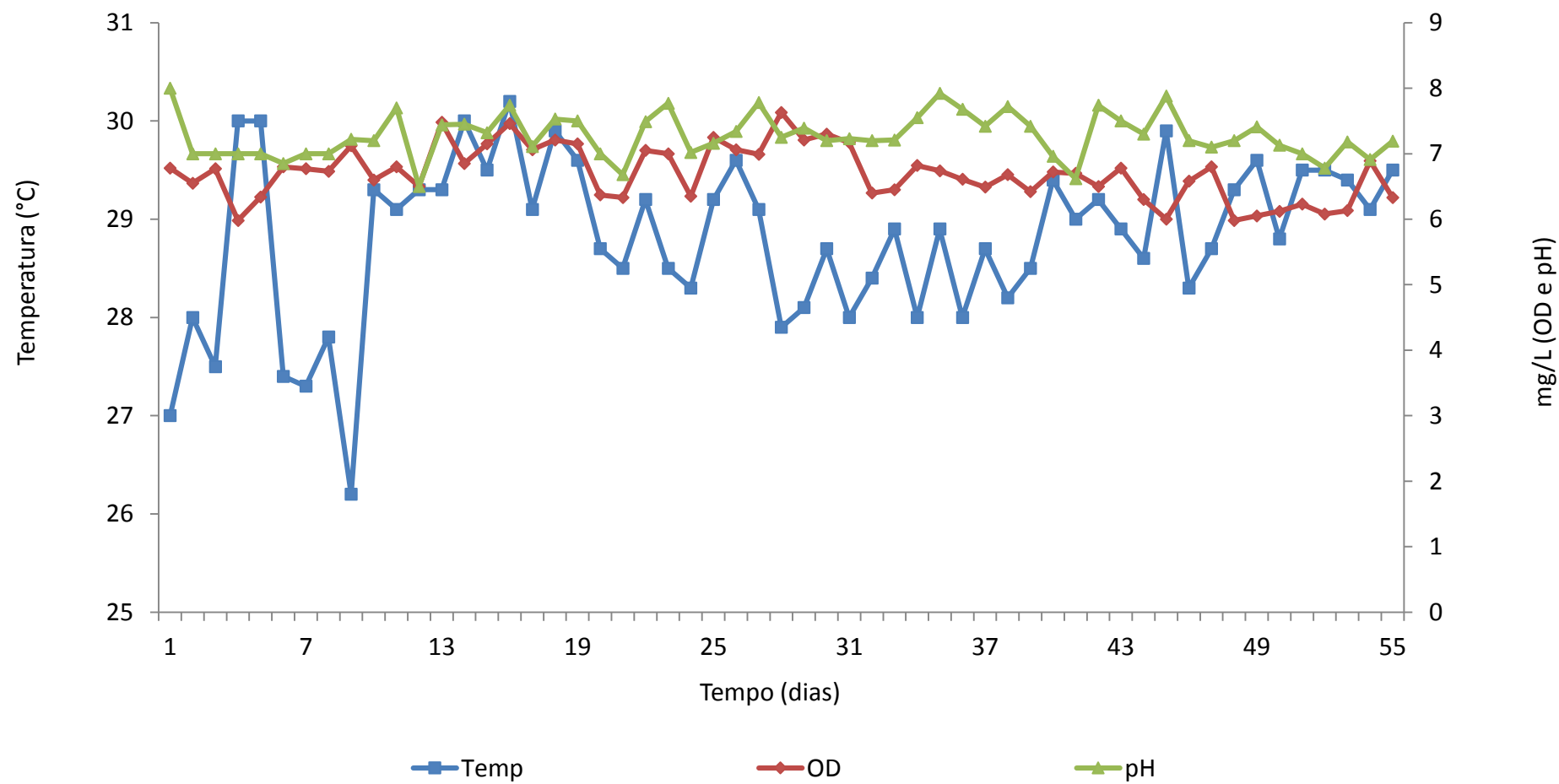


Figura 26: Média e desvio padrão das variáveis físico-químicas de qualidade da água durante a engorda de tilápias-do-nilo em sistema de recirculação durante 60 dias.

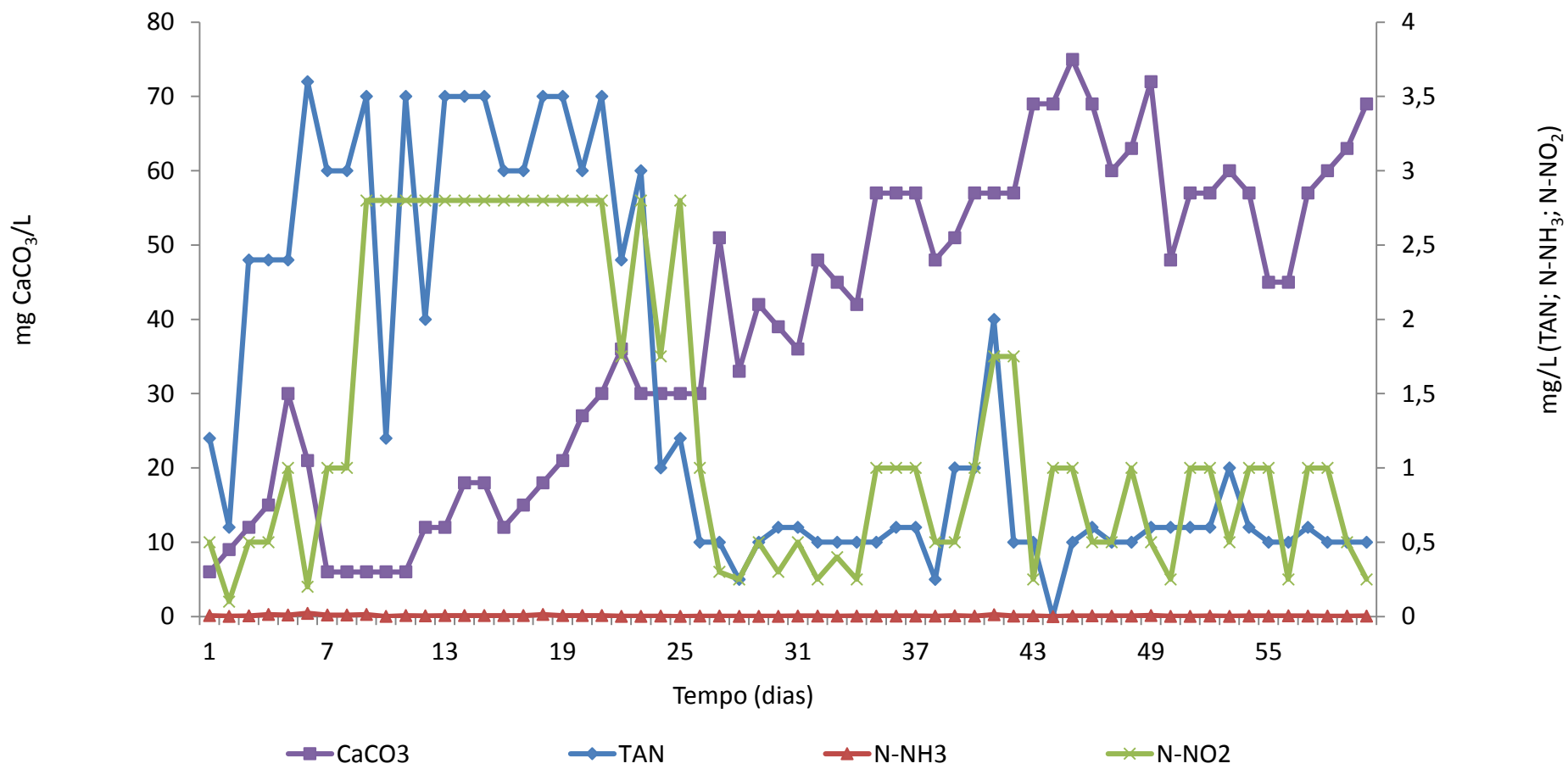
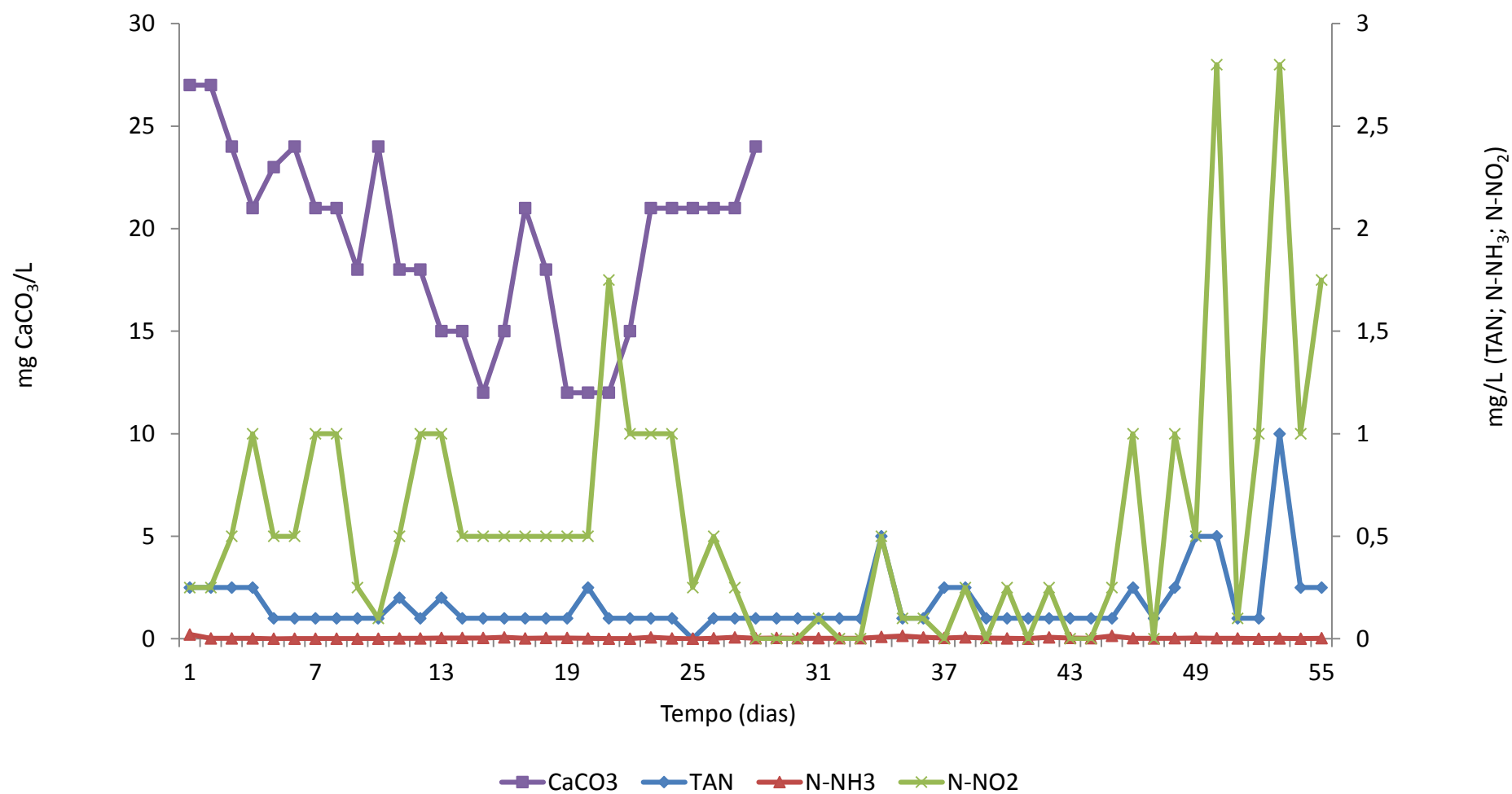


Figura 27: Média e desvio padrão das variáveis físico-químicas de qualidade da água durante a engorda de jundiás em sistema de recirculação durante 60 dias.



Timmons e Ebeling (2010), narram que cada parâmetro é individualmente importante, contudo a inter-relação entre todos eles ao mesmo tempo é que determinam a saúde e o crescimento dos peixes. As variáveis físico-químicas de qualidade da água em ambos os períodos experimentais apresentaram um comportamento muito similar, com valores distintos em cada período e dentro dos padrões de conforto das espécies (Popma et al., 1996; Borghetti et al., 2003).

A eficiência do processo de nitrificação em filtros biológicos é descrita por Lekang e Kleppe, (2000), onde testaram variações de superfícies para suporte biológico em RAS, argila expandida em três tamanhos; anéis plásticos; tubos plásticos; grama sintética plástica. Na ocasião o cloreto de amônio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) foi utilizado para se obter as concentrações adequadas de amônia no sistema, sem utilização de animais. Todos os meios testados apontaram diminuição na quantidade de TAN entre os dias 50 e 60 após picos provocados pelo cloreto de amônio, relacionando o fenômeno a um rápido aumento no número de bactérias nitrificantes.

No presente estudo a amônia total apresentou uma cinética peculiar em cada um dos períodos, porém variações mais visíveis foram observadas na fase inicial, com tilápias, onde quedas acentuadas na concentração de TAN foram observadas após os picos registrados. Possivelmente, isso se deve ao fato de que no experimento de engorda de tilápias-do-nilo, os filtros biológicos apresentavam condições estéreis, ou seja, a maturação primária dos filtros biológicos (item 2.3.1.), ocorreu incorporada ao primeiro ensaio experimental, e a maturação se deu na primeira semana, através da adição do pool bacteriano NITE-OUT II, justificando as variações nos parâmetros de qualidade da água nesse período. Já, na engorda de jundiás no sistema de recirculação, devido ao fato de o filtro já estar maturado, os parâmetros de qualidade da água se mantiveram mais homogêneos, com menores oscilações (fig. 24, 25, 26 e 27).

Kuhn et al. (2010), após utilizarem um produto comercial (*PondProtect-L®*) de bactérias nitrificantes, como inóculo inicial em filtro biológico de RAS para camarões marinhos, observaram atividades de nitrificação dois dias após o acréscimo do produto no sistema, com melhorias nos processos de nitrificação dos sistemas que receberam o *pull* bacteriano em relação aos que não receberam. Dessa forma utilização de produtos comerciais similares aos utilizados no presente estudo pode ser uma boa alternativa para acelerar o processo de maturação de filtros biológicos.

Martins et al. (2010), relatam que uma comunidade microbiana saudável contribui para manutenção da qualidade de água dentro de sistemas de recirculação e a possibilidade de manter essa qualidade constante é fundamental e contribui com melhorias na sanidade dos animais.

Projetar um sistema de recirculação e seus componentes é uma tarefa complicada, na qual o projetista necessita fazer várias escolhas para encontrar o equilíbrio entre os custos de implantação e operação, observando sempre os riscos envolvidos. Alguns critérios como o volume do sistema, densidade de cultivo, espécie, taxas de alimentação podem influenciar no design dos biofiltros. Do total da ração fornecida diariamente aos peixes, 3 % será convertida em TAN, ou seja, para cada 1000 g de ração serão produzidos 30 g de TAN no sistema e para cada 0,3 g de TAN gerados no sistema seriam necessários 1,0 m<sup>2</sup> de área superficial como suporte biológico para que a oxidação da amônia a nitrato ocorra de forma efetiva (Timmons e Ebeling, 2010).

Sendo assim, através deste padrão estabelecido pelos autores Timmons e Ebeling (2010), podemos assumir que o sistema experimental, ao final da primeira etapa, estava recebendo uma carga diária de nitrogênio amoniacal total de 11,34 g e seriam necessários suportes biológicos que oferecessem 37,8 m<sup>2</sup> de área superficial. A segunda etapa do

experimento terminou com um aporte diário de nitrogênio amoniacal total de 19,35 g, sendo necessários 64,5 m<sup>2</sup> de área superficial do suporte biológico.

No presente estudo as fibras sintéticas utilizadas como suporte biológico possuíam as dimensões de 225 mm x 110mm. Com a quantidade utilizada no experimento (duzentas unidades), teoricamente, lançamos mão de uma área superficial em torno de 4,95 m<sup>2</sup>, indicando que esse material possui uma grande área de superfície específica (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>).

### 3.5. Os parâmetros zootécnicos

Foram monitorados ao longo de todos os experimentos com tilápias-do-nilo (tabela 3) e jundiás (tabela 4), e ao final do período apresentaram características distintas para cada espécie.

#### 3.5.1. Tilápias-do-nilo (*Oreochromis niloticus*).

A primeira fase experimental foi definida com utilização de *Oreochromis niloticus* que apresentou ao final os seguintes índices:

Tabela 3: Parâmetros zootécnicos de engorda de tilápia-do-nilo em sistema de recirculação experimental durante 60 dias (médias  $\pm$  desvio padrão).

Variáveis zootécnicas	Valor
Número de peixes (unidade)	120,00
Biomassa total inicial (kg)	3,80
Peso inicial (g)	32,11 $\pm$ 7,6
Biomassa total final (kg)	12,60
Peso final (g)	105,53 $\pm$ 34,25
Ganho de peso (g)	73,42 $\pm$ 26,65
Taxa de crescimento específico (%/dia)	1,98

Abou et al. (2007), ao avaliarem diferentes densidades de estocagem para tilápias-do-nilo, utilizaram peixes com média inicial de peso em 16,2  $\pm$  0,2 g, alimentando os animais duas vezes ao dia com rações contendo diferentes percentuais de Azolla em sua composição e obtiveram taxas de crescimento específico entre 1,90 e 2,20 %/dia, semelhantes ao encontrado neste estudo. Já Marengoni (2006), obteve taxas de crescimento específico variando entre 1,33 e 1,44 %/dia para tilápias cultivadas em tanques-rede e sobrevivência de até 99 %, índices abaixo dos atingidos neste experimento. Carvalho et al. (2010), ao verificarem o



desempenho produtivo de tilápia-do-nilo em tanques-rede, descreveram que em 150 dias de engorda as taxas de ganho de peso diário giraram entre 0,30 e 7,23 g/dia e taxas de sobrevivência de 93 % enquanto Do Carmo et al. (2008), obteve índice de 1,77 %/dia para taxa de crescimento específico e sobrevivência de 85,67 % em viveiros escavados.

Al-Hafedh et al. (2003), quando testaram materiais plásticos como suporte biológico para sistemas de recirculação com tilápia-do-nilo, pesando em média 120 g, alimentadas três vezes ao dia com ração contendo 36 % de proteína, verificaram uma taxa média de crescimento diária de mais de 2 g, valor muito próximo ao nosso índice.

Esses padrões mostram que a tilápia-do-nilo possui, em geral, um ótimo potencial para cultivo, apresentando algumas variações nos índices zootécnicos em função dos métodos de cultivos e dietas utilizadas.

### 3.5.2. Jundiás (*Rhamdia quelen*).

No segundo experimento, utilizou-se a espécie *Rhamdia quelen* a qual apresentou os seguintes índices:

Tabela 4: Parâmetros zootécnicos de engorda de jundiás em sistemas de recirculação experimental durante 60 dias (médias  $\pm$  desvio padrão).

Variáveis zootécnicas	Valor
Número de peixes (unidade)	480,00
Biomassa total inicial (kg)	5,40
Peso inicial (g)	11,34 $\pm$ 2,40
Biomassa total final (kg)	21,50
Peso final (g)	44,79 $\pm$ 9,38
Ganho de peso (g)	33,45 $\pm$ 6,98
Taxa de crescimento específico (%/dia)	2,29

Canton et al. (2007), em pesquisas para verificarem influência da frequência alimentar sobre juvenis de Jundiás, demonstraram entusiasmo com potencial de desempenho zootécnico da espécie, para os grupos alimentados quatro vezes ao dia, ao obterem ganho de peso médio de 41,10  $\pm$  4,56 g, taxa de crescimento específico em 1,56 %/dia e sobrevivência de 80,12 %. Igualmente, Fracalossi et al. (2004), verificaram que a espécie *Rhamdia quelen* seria

promissora quando desenvolveram um estudo no qual narraram que os peixes cultivados em viveiros de terra no estado de Santa Catarina alcançaram índices animadores, com ganho de peso diário em 1,97 g, taxa de crescimento específico de 1.20 %/dia e sobrevivência de 71 %. Os valores reportados nesses trabalhos ficaram abaixo dos índices atingidos pelos jundiás em nosso estudo. O Jundiá desponta no sul do Brasil como uma espécie com um potencial de cultivo muito promissor por ser adaptado às condições climáticas da região de clima temperado. Na ocasião do nosso estudo os animais foram mantidos em condições controladas, com temperaturas estáveis ao longo do período, características dos sistemas de recirculação e isto pode explicar o melhor desempenho dos animais nesta pesquisa quando comparados aos outros citados.

#### **4. CONCLUSÃO**

A fibra sintética foi validada e pode ser utilizada como suporte biológico em sistemas de recirculação para aquicultura, sem causar prejuízos e alterações fisiológicas aparentes nos animais bem como dos índices zootécnicos, contribuindo para uma boa manutenção das variáveis físico-químicas da água.

#### **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os ciclos de produção aquícola normalmente dependem de colonização natural de bactérias nitrificantes nos filtros, mas isso significa um tempo longo de espera até que se estabeleça uma população saudável e viável de bactérias nitrificantes (Kuhn et al., 2010).

O uso do produto comercial com inóculo de bactérias nitrificantes se demonstrou eficaz quando utilizado de acordo com o protocolo de colonização de mídias estabelecido nesse trabalho, podendo ser recomendado para utilização em futuros estudos.

No período de experimental com jundiás fez-se uso de ração peletizada e foi observado que estas contribuem muito para degradação da qualidade da água, pois as mesmas

em contato com a água perdiam a estabilidade após alguns minutos. Recomenda-se não utilizar rações dessa natureza em sistemas de recirculação.

Os jundiás utilizados neste experimento alimentaram-se normalmente em ambiente iluminado artificialmente representando a luz do dia, contrariando informações de que a espécie *Rhamdia quelen* tem hábitos alimentares exclusivamente noturnos.

## **6. AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a PRAE/UFSC (Pró-reitoria de Assuntos Estudantis – Universidade Federal de Santa Catarina) pela bolsa estudantil, Piscicultura Alevinos do Sabiá pelo fornecimento dos peixes da espécie *Oreochromis niloticus*, ao Laboratório Central de Microscopia Eletrônica – LCME/UFSC pelo apoio e estrutura para realização das análises de microscopia eletrônica, ao AQUOS/UFSC - Laboratório de Patologia e Sanidade de Organismos Aquáticos e ao departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina.

## REFERÊNCIAS

- ABOU, Youssouf; FIOGBÉ, Emile D.; MICHA, Jean-Claude. Effects of stocking density on growth, yield and profitability of farming Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L., fed Azolla diet, in earthen ponds. **Aquaculture Research**, v. 38, n. 6, p. 595-604, 2007.
- AL-HAFEDH, Yousef S.; ALAM, Aftab; ALAM, M. Afaque. Performance of plastic biofilter media with different configuration in a water recirculation system for the culture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquacultural engineering**, v. 29, n. 3, p. 139-154, 2003.
- BIJO, Pada Anak et al. Feasibility study of a recirculation aquaculture system. 2007.
- BORGHETTI, Nadia Rita Boscardin et al. **Aquicultura: uma visao geral sobre a producao de organismos aquaticos no Brasil e no mundo**. 2003.
- BROWN, Monisha N. et al. Ammonia-oxidizing archaea and nitrite-oxidizing *nitrospiras* in the biofilter of a shrimp recirculating aquaculture system. **FEMS microbiology ecology**, v. 83, n. 1, p. 17-25, 2013.
- CAMPOS, J. L. et al. Nitrification at high ammonia loading rates in an activated sludge unit. **Bioresource Technology**, v. 68, n. 2, p. 141-148, 1999.
- CANTON, Régis et al. Influência da frequência alimentar no desempenho de juvenis de jundiá. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 4, p. 749-753, 2007.
- CARVALHO, Edmir Daniel; CAMARGO, André Luiz Scarano; ZANATTA, Augusto Seawright. Productive development of Nile tilapia raised in net cages at a public reservoir: brief analysis of the empirical model of classification. **Ciência Rural**, v. 40, n. 7, p. 1616-1622, 2010.
- COLT, John et al. Reporting standards for biofilter performance studies. **Aquacultural engineering**, v. 34, n. 3, p. 377-388, 2006.
- COSTA, Adriana Guimarães; FERREIRA, Andréa Fagundes; HAANDEL, Adrianus van. Control of reaction sludg's system bacterian activity-Bardenpho through respirometry. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 12, n. 1, p. 17-23, 2007.
- CRAB, Roselien et al. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. **Aquaculture**, v. 270, n. 1, p. 1-14, 2007.
- DO CARMO, João Laurindo et al. Crescimento de três linhagens de tilápia sob cultivo semi-intensivo em viveiros. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 2, 2008.
- FRACALOSS, Débora Machado et al. Desempenho do jundiá, *Rhamdia quelen*, e do dourado, *Salminus brasiliensis*, em viveiros de terra na região sul do Brasil-DOI: 10.4025/actascianimsci. v26i3. 1806. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 26, n. 3, p. 345-352, 2008.
- GERNAEY, Krist et al. Fast and sensitive acute toxicity detection with an enrichment nitrifying culture. **Water environment research**, v. 69, n. 6, p. 1163-1169, 1997.

- GERNAEY, A. Krist et al. Activated sludge monitoring with combined respirometric–titrimetric measurements. **Water Research**, v. 35, n. 5, p. 1280-1294, 2001.
- GODFRAY, H. Charles J. et al. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. **science**, v. 327, n. 5967, p. 812-818, 2010.
- GUERDAT, Todd C. et al. An evaluation of commercially available biological filters for recirculating aquaculture systems. **Aquacultural engineering**, v. 42, n. 1, p. 38-49, 2010.
- HELDDBO, J. "Sistemas de Recirculação – A Vanguarda da Aquicultura Dinamarquesa" **Panorama da Aquicultura**. V 25, n. 148, p. 14-23, 2015.
- LIU, Huang; CHE, Xuan; ZHANG, Yulei. Performance of sequencing microbead biofilters in a recirculating aquaculture system. **Aquacultural engineering**, v. 52, p. 80-86, 2013.
- LEKANG, Odd-Ivar; KLEPPE, Helge. Efficiency of nitrification in trickling filters using different filter media. **Aquacultural engineering**, v. 21, n. 3, p. 181-199, 2000.
- MALONE, Ronald F.; PFEIFFER, Timothy J. Rating fixed film nitrifying biofilters used in recirculating aquaculture systems. **Aquacultural engineering**, v. 34, n. 3, p. 389-402, 2006.
- MARENGONI, N. G. Produção de tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* (linhagem chitralada), cultivada em tanques-rede, sob diferentes densidades de estocagem. **Archivos de Zootecnia**, v. 55, n. 210, p. 127-138, 2006.
- MARTINS, C. I. M. et al. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. **Aquacultural Engineering**, v. 43, n. 3, p. 83-93, 2010.
- NAZAR, A.K.A.; JAYAKUMAR, R.; TAMILMANI, G. Recirculating aquaculture systems. 2013.
- PINEDA, J. et al. Biofiltration of toluene vapors using a model support. **Bioprocess Engineering**, v. 23, n. 5, p. 479-486, 2000.
- POPMA, Thomas J. et al. Worldwide prospects for commercial production of tilapia. **International Center for Aquaculture and Aquatic Environments**, 1996.
- RIDHA, Mohammad T.; CRUZ, Emmanuel M. Effect of biofilter media on water quality and biological performance of the Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. reared in a simple recirculating system. **Aquacultural Engineering**, v. 24, n. 2, p. 157-166, 2001.
- SALILING, Willie Jones B.; WESTERMAN, Philip W.; LOSORDO, Thomas M. Wood chips and wheat straw as alternative biofilter media for denitrification reactors treating aquaculture and other wastewaters with high nitrate concentrations. **Aquacultural Engineering**, v. 37, n. 3, p. 222-233, 2007.
- SANDU, Simonel I. et al. Factors influencing the nitrification efficiency of fluidized bed filter with a plastic bead medium. **Aquacultural Engineering**, v. 26, n. 1, p. 41-59, 2002.

- SCHRAMM, Andreas et al. Identification and activities in situ of *Nitrosospira* and *Nitrospira* spp. as dominant populations in a nitrifying fluidized bed reactor. **Applied and environmental microbiology**, v. 64, n. 9, p. 3480-3485, 1998.
- SINGH, Sahdev; EBELING, James; WHEATON, Fredrick. Water quality trials in four recirculating aquacultural system configurations. **Aquacultural engineering**, v. 20, n. 2, p. 75-84, 1999.
- SLIEKERS, A. Olav et al. Completely autotrophic nitrogen removal over nitrite in one single reactor. **Water Research**, v. 36, n. 10, p. 2475-2482, 2002.
- SPANJERS, Henri; TAKÁCS, Irare; BROUWER, Harry. Direct parameter extraction from respirograms for wastewater and biomass characterization. **Water Science and Technology**, v. 39, n. 4, p. 137-145, 1999.
- SPANJERS, Henri et al. Respirometry in control of the activated sludge process. **Water Science and Technology**, v. 34, n. 3, p. 117-126, 1996.
- TIMMONS, M. B., EBELING, J. M., 2010. **Recirculating Aquaculture**, 2nd edition. Cayuga Aqua Ventures, Ithaca, NY.
- URFER, Daniel; HUCK, Peter M. Measurement of biomass activity in drinking water biofilters using a respirometric method. **Water research**, v. 35, n. 6, p. 1469-1477, 2001.
- XU, Shulan; HASSELBLAD, Serena. A simple biological method to estimate the readily biodegradable organic matter in wastewater. **Water Research**, v. 30, n. 4, p. 1023-1025, 1996.
- ZHU, Songming; CHEN, Shulin. Impacts of Reynolds number on nitrification biofilm kinetics. **Aquacultural engineering**, v. 24, n. 3, p. 213-229, 2001.

## REFERÊNCIAS INTRODUÇÃO GERAL

- BIJO, Pada Anak et al. Feasibility study of a recirculation aquaculture system. 2007.
- BLANCHETON, Jean-Paul et al. Intensification of landbased aquaculture production in single pass and reuse systems. **Aquacultural Engineering and Environment**, p. 21-47, 2007.
- BROWN, Monisha N. et al. Ammonia-oxidizing archaea and nitrite-oxidizing *nitrospiras* in the biofilter of a shrimp recirculating aquaculture system. **FEMS microbiology ecology**, v. 83, n. 1, p. 17-25, 2013.
- CRAB, Roselien et al. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. **Aquaculture**, v. 270, n. 1, p. 1-14, 2007.
- EPAGRI - **Desempenho da piscicultura de água doce**. Disponível em: <[http://www.epagri.sc.gov.br/?page\\_id=676](http://www.epagri.sc.gov.br/?page_id=676)> Acesso em: 25 abr. 2016.
- FAO. 2014. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2014**. Rome. 223 pp.
- FAO. **National Aquaculture Sector Overview Brasil** – Disponível em: <[http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso\\_brazil/en#tcN70070](http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_brazil/en#tcN70070)> Acesso em 25 abr. 2016.
- FishBase – Disponível em: <<http://www.fishbase.org/>> Acesso em: 18 jan. 2016.
- GODFRAY, H. Charles J. et al. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 812-818, 2010.
- GUERDAT, Todd C. et al. An evaluation of commercially available biological filters for recirculating aquaculture systems. **Aquacultural engineering**, v. 42, n. 1, p. 38-49, 2010.
- HELDDBO, J. "Sistemas de Recirculação – A Vanguarda da Aquicultura Dinamarquesa" **Panorama da Aquicultura**. V 25, n. 148, p. 14-23, 2015.
- HELFRICH, L. A., LIBEY, G. **Fish farming in recirculating aquaculture systems (RAS)**. Virginia State Cooperative Service, 1991.
- KAYANSAMRUAI, P. PIRARAT, N., HIRONO, I., RODKHUM, C. Increasing of temperature induces pathogenicity of *Streptococcus agalactiae* and the up-regulation of inflammatory related genes in infected Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Veterinary Microbiology**, v. 172, n. 1-2, p. 265-271, 2014.
- KUHN, David D. et al. Evaluation of nitrifying bacteria product to improve nitrification efficacy in recirculating aquaculture systems. **Aquacultural engineering**, v. 43, n. 2, p. 78-82, 2010.
- LEKANG, Odd-Ivar; KLEPPE, Helge. Efficiency of nitrification in trickling filters using different filter media. **Aquacultural engineering**, v. 21, n. 3, p. 181-199, 2000.
- LIU, Huang; CHE, Xuan; ZHANG, Yulei. Performance of sequencing microbead biofilters in a recirculating aquaculture system. **Aquacultural engineering**, v. 52, p. 80-86, 2013.

- LOSORDO, Thomas M.; MASSER, Michael P.; RAKOCY, James E. Recirculating aquaculture tank production systems. **A review of component opticons**, 1999.
- MADIGAN, Michael T. et al. **Microbiologia de brock**. 10. ed. Artmed, 2004. 608 p.
- MALONE, Ronald F.; PFEIFFER, Timothy J. Rating fixed film nitrifying biofilters used in recirculating aquaculture systems. **Aquacultural engineering**, v. 34, n. 3, p. 389-402, 2006.
- MATĚJŮ, Vít et al. Biological water denitrification—a review. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 14, n. 3, p. 170-183, 1992.
- MARTINS, C. I. M. et al. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. **Aquacultural Engineering**, v. 43, n. 3, p. 83-93, 2010.
- MICHELS, Camila et al. Utilização de tiosulfato como doador de elétrons para remoção de nitrogênio via nitrificação e desnitrificação autotrófica em reator SBR. **Tese de Doutorado**. 2011.
- Ministério da Pesca e Aquicultura - **1º Anuário Brasileiro da Pesca e da Aquicultura**, v. 1, p. 42-43, 2014.
- NAZAR, A.K.A.; JAYAKUMAR, R.; TAMILMANI, G. **Recirculating aquaculture systems**. 2013.
- OTOSHI, Clete A.; ARCE, Steve M.; MOSS, Shaun M. Growth and reproductive performance of broodstock shrimp reared in a biosecure recirculating aquaculture system versus a flow-through pond. **Aquacultural engineering**, v. 29, n. 3, p. 93-107, 2003.
- RIDHA, Mohammad T.; CRUZ, Emmanuel M. Effect of biofilter media on water quality and biological performance of the Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. reared in a simple recirculating system. **Aquacultural Engineering**, v. 24, n. 2, p. 157-166, 2001.
- ROCHA, Carlos Magno Campos da et al. Avanços na pesquisa e no desenvolvimento da aquicultura brasileira. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 48, n. 8, p. iv-vi, 2013.
- SALILING, W. J. B.; WESTERMAN, P. W.; LOSORDO, T. M. Wood chips and wheat straw as alternative biofilter media for denitrification reactors treating aquaculture and other wastewaters with high nitrate concentrations. **Aquacultural Engineering**, v. 37, n. 3, p. 222-233, 2007.
- SCHMIDT, E. C., DOS SANTOS, R., HORTA, P. A., MARASCHIN, M., BOUZON, Z. L. Effects of UVB radiation on the agarophyte *Gracilaria domingensis* (Rhodophyta, Gracilariales): Changes in cell organization, growth and photosynthetic performance. **Micron**, v. 41, n. 8, p. 919-930, 2010.
- SLIEKERS, A. Olav et al. Completely autotrophic nitrogen removal over nitrite in one single reactor. **Water Research**, v. 36, n. 10, p. 2475-2482, 2002.
- SUBASINGHE, R. P. Epidemiological approach to aquatic animal health management: opportunities and challenges for developing countries to increase aquatic production through aquaculture. **Preventive Veterinary**, v. 67, p. 117-124, 2005.



- SUMMERFELT, S. T. Design and management of conventional fluidized-sand biofilters. **Aquacultural Engineering**, v. 34, n. 3, p. 275-302, 2006.
- TAL, Yossi et al. Environmentally sustainable land-based marine aquaculture. **Aquaculture**, v. 286, n. 1, p. 28-35, 2009.
- TIMMONS, M. B., EBELING, J. M., 2010. **Recirculating Aquaculture**, 2<sup>nd</sup> edition. Cayuga Aqua Ventures, Ithaca, NY.
- WU, Y. R., GONG, Q. F., FANG, H., LIANG, W. W., CHEN, M., HE, R. J. Effect of *Sophora flavescens* on non-specific immune response of tilapia (GIFT *Oreochromis niloticus*) and disease resistance against *Streptococcus agalactiae*. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 34, n. 1, p. 220-227, 2013.